Anàlogamente, em transformações em que se consideram apenas fases líquidas e sólidas, se estas últimas se mantém constantes, torna-se particularmente cómodo tomar para estados standards dos constituintes envolvidos nessas fases sólidas, o estado em que se encontram nas mesmas, porque isso igualmente implica as actividades manterem-se sempre unitárias.

6.4 — **Classificação das soluções** (1)

6.4.1 — *Introdução*

Vamos referir-nos principalmente a soluções binárias.

Interessa-nos classificar as soluções em grupos de complexidade crescente no que se refere ao tratamento formal das suas propriedades ou das propriedades dos seus constituintes.

Os grupos que vamos considerar são:

— Soluções ideais;
— Soluções não ideais.

Estas últimas desdobraremos ainda em:

— Estrictamente regulares;
— Regulares;
— Não regulares.

6.4.2 — *Lei de Raoult e lei de Henry*

Lei de Raoult: «A pressão de vapor dum solvente em solução é inferior à do solvente puro e é proporcional à sua fracção molar».

Admitindo a existência de continuidade na função que traduz esta lei:

$$P = K\,x$$

no ponto $x = 1$, é evidente que ela implica ser

$$K = P^o$$

sendo P^o a tensão de vapor do solvente puro.

Lei de Henry: «A fracção molar dum solvido volátil é proporcional à sua pressão na fase gasosa».

(1) Note-se que quer aqui quer noutros parágrafos em que poderia vir a propósito, não distinguimos as soluções de electrólitos, de grande interesse em Química Geral mas de interesse mais restrito no campo das Metalurgias. Aliás, apenas a falta de tempo nos leva a esta omissão.

Como agora estamos na região em que é $x < 0{,}5$, esta lei não implica qualquer limitação ao coeficiente de proporcionalidade — K — da fórmula que a traduz:

$$P = K\,x \quad (1)$$

Teorema: Na região em que se aplica a lei de Raoult ao solvente, aplica-se a lei de Henry ao solvido.

Demonstração:

Apliquemos a lei de Gibbs-Duhem às entalpias livres parciais molares:

$$x_1\, d\,\bar{G}_1 + x_2\, d\,\bar{G}_2 = 0$$

sendo

$$\bar{G}_1 = \mu_1 = R\,T \ln a_1 + \mu_1^o = R\,T \ln \frac{P_1}{P_1^o} + \mu_1^o$$

vem

$$d\,\bar{G}_1 = R\,T\, d \ln P_1 \quad (2)$$

e

$$x_1\, d \ln P_1 + x_2\, d \ln P_2 = 0$$

ou seja

$$\frac{x_1}{P_1}\, d\,P_1 = -\frac{x_2}{P_2}\, d\,P_2$$

mas, atendendo a que é

$$x_1 + x_2 = 1$$

vem

$$\frac{x_1}{P_1}\,\frac{d\,P_1}{d\,x_1} = \frac{x_2}{P_2}\,\frac{d\,P_2}{d\,x_2}$$

Se admitirmos que *1* é o solvente, o primeiro membro desta última igualdade é igual a *1* para as concentrações em que a lei de Raoult se aplica, o que conduz à expressão.

$$\frac{d\,x_2}{x_2} = \frac{d\,P_2}{P_2}$$

que integrando dá

$$P_2 = K\,x_2 \qquad \text{q. e. d.}$$

(1) Evidentemente que K será real, positivo e tal que $K\,x \leqslant P^o$.

(2) P_1^o e μ_1^o são constantes para uma dada temperatura.

6. 4. 3 — *Soluções ideais*

6. 4. 3. 1 — *Definição*

Uma solução diz-se ideal se a lei de Raoult se aplica igualmente aos dois constituintes e em toda a gama de concentrações.

Como é fácil de ver, esta definição implica uma afirmação idêntica em relação à lei de Henry.

6. 4. 3. 2 — *Soluções binárias ideais em equilibrio com o seu vapor.*

Das seguintes igualdades

$$P = P_1 + P_2$$
$$P_1 = P_1^0 \, x_1$$
$$P_2 = P_2^0 \, x_2$$
$$x_1 + x_2 = 1$$

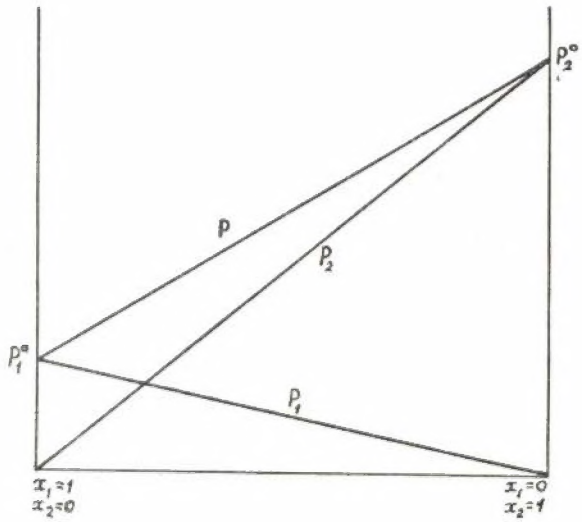
resulta imediatamente

$$P = P_1^0 + x_2 \, (P_2^0 - P_1^0)$$

ou

$$P = P_2^0 + x_1 \, (P_1^0 - P_2^0)$$

isto é, a pressão total é função linear de x_2 (ou x_1). Gràficamente teremos:



6.4.3.3 — *Diagrama das actividades*

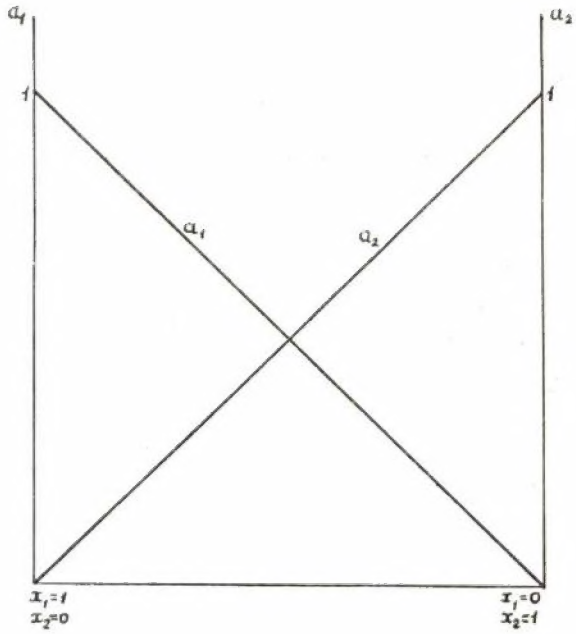
Como é

$$a_1 = \frac{P_1}{P_1^0} \quad e \quad a_2 = \frac{P_2}{P_2^0}$$

Será

$$a_1 = x_1 \quad e \quad a_2 = x_2$$

o que conduz ao seguinte diagrama



Observação: Notar que no caso das soluções ideais os coeficientes de actividade são constantes e iguais a 1.

6.4.3.4 — *Variação de volume na formação de uma solução ideal*

Consideremos o constituinte *i* de uma solução ideal. Será

$$\Delta G_i = \overline{G}_i - G_i^0 = R\,T \ln a_i = R\,T \ln x_i$$

e

$$\left[\frac{\partial\,(\Delta G_i)}{\partial P}\right]_T \overset{(1)}{=} \Delta V_i = 0$$

porque $R\,T \ln x_i$ é independente de P.

A variação de volume na formação da solução será então:

$$\Delta V = \Sigma n_i \, \Delta V_i = 0$$

Conclusão: As soluções ideais formam-se a partir dos seus constituintes sem qualquer variação de volume.

---

(1) Vide 6.2.2.

6.4.3.5 — *Entalpia de formação das soluções ideais*

É fácil de ver que é

$$\left[\frac{\partial\left(\frac{\Delta G}{T}\right)}{\partial T}\right]_P = -\frac{\Delta H}{T^2}\ (1)$$

Do parágrafo anterior tira-se:

$$\frac{\Delta G_i}{T} = R \ln x_i$$

ou seja

$$\left[\frac{\partial\left(\frac{\Delta G_i}{T}\right)}{\partial T}\right]_P = -\frac{\Delta H_i}{T^2} = 0$$

porque $R \ln x_i$ é independente de T

Finalmente vem:

$$\Delta H_i = 0$$

e

$$\Delta H = \Sigma n_i \Delta H_i = 0$$

Conclusão: A entalpia de formação das soluções ideais é nula ou, o que é o mesmo, as soluções ideais formam-se a partir dos seus constituintes sem qualquer efeito térmico.

Observação: Notar que estas duas últimas conclusões conduzem a considerar a formação de soluções ideais limitada a constituintes cujas moléculas (ou átomos) sejam intermutáveis, isto é, muito semelhantes. Na realidade, as soluções ideais são muito raras (teòricamente trata-se de um caso limite que, rigorosamente, nunca é atingido) observando-se em casos como:

— entre isómeros ópticos;

— entre compostos orgânicos de fórmulas análogas;

— no caso dos metais, entre aqueles que apresentem grande semelhança química e dimensões atómicas muito vizinhas.

6.4.4 — *Soluções não ideais*

6.4.4.1 — *Definição e considerações gerais*

Por definição, soluções não ideais são todas aquelas que não satisfazem à definição de solução ideal atrás enunciada.

Mostra a experiência que em relação a estas soluções, a lei de Raoult e a lei de Henry aplicam-se apenas como leis limites, isto é:

— a lei de Raoult aplica-se no limite quando a fracção molar do solvente tende para um;

— a lei de Henry aplica-se no limite quando a fracção molar do solvido tende para zero.

Pràticamente estas afirmações querem dizer:

1.º Que na representação gráfica a curva

$$P_1 = f(x_1)$$

é tangente:

— à recta $P = x_1$ para $x_1 = 1$
— à recta $P = K x_1$ para $x_1 = 0$

2.º — Que a função

$$P_1 = f(x_1)$$

pode tomar as formas

$$P_1 = x_1 \quad e \quad P_1 = K x_1$$

numa vizinhança, respectivamente, de $x_1 = 1$ e $x_1 = 0$, a qual dependerá dos sistemas em consideração e será tanto maior quanto menor for a aproximação com que se quizer trabalhar.

Observação: Como é

$$a_1 = \gamma_1 x_1 = \frac{P_1}{P_1^o}$$

e na vizinhança de $x_1 = 0$ é $P_1 \cong K x_1$, será nessa mesma vizinhança

$$\gamma_1 \cong \frac{K}{P_1^o}$$

sendo

$$K = \lim_{x_1 \to 0} \gamma_1 \,.\, P_1^o = \gamma_1^o \,.\, P_1^o \ (1)$$

---

(1) $$\left[\frac{\partial\left(\frac{\Delta G}{T}\right)}{\partial T}\right]_P = \frac{1}{T}\left(\frac{\partial(\Delta G)}{\partial T}\right)_P - \frac{\Delta G}{T^2} = \frac{1}{T}(-\Delta S) - \frac{\Delta G}{T^2} = -\frac{\Delta H}{T^2}$$

porque $\left[\frac{\partial(\Delta G)}{\partial T}\right]_P = -\Delta S$ como se mostrou em 6.2.2

e

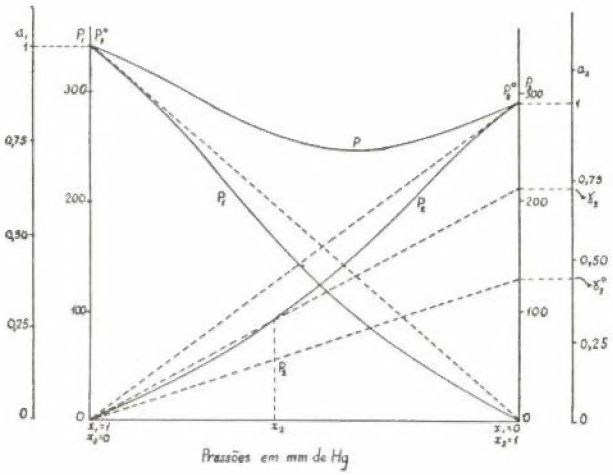
$$-\Delta S = \frac{\Delta G - \Delta H}{T}$$

(1) Vidé definição de γ_1^o em nota do parágrafo 6.2 3.3.3

6.4.4.2 — *Diagrama das pressões*

Estes diagramas dependem de caso para caso, apenas se podendo afirmar que as curvas das pressões parciais são tangentes às rectas acima referidas, para as concentrações 0 e 1.

O gráfico que se apresenta refere-se às soluções de acetona — 1 — e clorofórmio — 2 — a T = 308,17° K.



6.4.4.3 — *Diagrama das actividades.*

Como é

$$a_1 = \frac{P}{P_1^o} \quad e \quad a_2 = \frac{P_2}{P_2^o}$$

concluimos que as curvas do diagrama das pressões parciais dão também as actividades dos constituintes correspondentes desde que se tome para escala das actividades a que resulta de dividir a escala das pressões pelas tensões de vapor dos constituintes puros (vidé figura do parágrafo anterior).

Observações: 1.° — Notar que os coeficientes de actividade se medem nos diagramas das actividades pela intersecção com o eixo das ordenadas, da secante à curva relativa ao constituinte em causa e que passa pela origem e pelo ponto correspondente à fracção molar que se queira considerar. Do exemplo que se regista na figura do parágrafo anterior tira-se imediatamente:

$$\frac{P_2}{x_2} = \frac{\gamma_2}{1} = \gamma_2$$

Daqui se conclui que γ^o é dado pela tangente à curva das actividades no ponto $x = 0$.

2.° — É fácil de ver que para uma solução não ideal é:

$\gamma = 1$ na região em que se aplica a lei de Raoult

$\gamma' = 1$ na região em que se aplica a lei de Henry

$\gamma'' = 1$ na região em que se aplica a lei de Henry, se esta região abranger a concentração 1 %.

Conclusão: Estão definidas as regiões em que se torna especialmente cómodo utilizar cada um dos estados standards atrás considerados.

3.° — Em relação ao estado standard substância pura, o coeficiente de actividade, tendendo para 1 quando a fracção molar também tende para 1, e devendo ser tal que seja

$$\gamma x < 1$$

pode tomar qualquer valor positivo. Diz-se, então que uma solução não ideal é de *desvio positivo*, se este coeficiente for maior que 1, e de *desvio negativo*, se for menor que 1 (1).

4.° — Mostra a experiência que a elevação de temperatura faz tender γ para 1, isto é, a derivada de γ em relação a T, sendo $P = C^{te}$, é positiva ou negativa conforme a solução é de desvio negativo ou positivo.

Sendo então

$$\frac{\Delta G_i}{T} = R \ln (\gamma_i x_i)$$

será

$$\left[\frac{\partial \left(\frac{\Delta G_i}{T}\right)}{\partial T}\right]_P = -\frac{\Delta H_i}{T^2} = \frac{R}{\gamma_i}\left(\frac{\partial \gamma_i}{\partial T}\right)_P$$

Conclusão: A entalpia de formação de uma solução não ideal é positiva ou negativa, conforme a solução seja de desvio positivo ou negativo (2).

---

(1) Notar que uma solução pode ser de desvio positivo para determinado intervalo das concentrações, e de desvio negativo para outro intervalo. Embora relativamente pouco frequente, pode ainda uma solução ser de desvio positivo para um constituinte e de desvio negativo para o outro.

(2) Consideramos o caso dos coeficientes de actividades serem todos positivos ou negativos.

5.º — Consideremos a variação de entalpia livre correspondente à formação de uma solução a partir dos seus constituintes puros:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Como sabemos, o estado de solução será o estável se ΔG for negativo e a tendência para esse estado será tanto maior quanto maior for o valor absoluto de ΔG. Daqui se conclui que ΔH, isto é, a entalpia de formação da solução, favorece ou desfavorece o estado de solução conforme seja negativa ou positiva. É então de prever que:

— os sistemas a que correspondem soluções de desvios positivos tenham pouca tendência para a formação de soluções; os seus diagramas apresentarão, em geral, regiões de imiscibilidade ou «líquidus» muito horizontalizados;

— os sistemas a que correspondem soluções de desvio negativo manifestem grande tendência para a união entre os seus constituintes; agora os diagramas de equilíbrio apresentarão soluções extensas ou mesmo a formação de compostos.

6.4.5 — *Excessos molares*

Nas soluções ideais, os coeficientes de actividade, γ, são iguais a 1, enquanto que nas soluções não ideais tal se não dá. Podemos então dizer que estes coeficientes medem o desvio de uma solução em relação à solução ideal.

Outro processo de medir o desvio do estado de solução ideal é estudar a diferença molar de uma propriedade extensiva relativa à formação da solução quando se consideram a sua formação real e uma formação em condições ideais. A estas diferenças chamam-se *excessos molares* e designá-las-emos com o superscrito E:

$$\Delta Y^E = \Delta Y_M - \Delta Y_M^i$$

em que o superscrito *i* quer dizer «variação que ocorreria se a solução resultasse ideal».

Será

$$\Delta Y^E = \Sigma x_j (\Delta Y_j - \Delta Y_j^i) = \Sigma x_j (\overline{Y}_j - \overline{Y}_j^i)$$

Exemplos:

1.º — *Excesso molar da entalpia livre*

Vê-se fàcilmente que é

$$\overline{G}_j - \overline{G}_j^i = R\,T\,(\ln a_i - \ln x_j) = R\,T \ln \gamma_j$$

ou seja

$$\Delta G^E = R\,T\,\Sigma x_j \ln \gamma_j = 4{,}575\,T\,\Sigma x_j \log \gamma_j$$

2.º — *Excesso molar da entropia*

Como é

$$\Delta S = -\left[\frac{\partial(\Delta G)}{\partial T}\right]_{P_1, x_1, x_2 \ldots}$$

é

$$\Delta S^E = -4{,}575\,\Sigma x_j \left[\log \gamma_j + T\frac{\partial(\log \gamma_j)}{\partial T}\right]$$

3.º — *Excesso molar da entalpia*

Como é

$$\Delta H^E = \Delta G^E + T\Delta S^E$$

vem

$$\Delta H^E = -4{,}575\,T^2\,\Sigma x_j \frac{\partial(\log \gamma_j)}{\partial T}$$

Conclusão: Os excessos molares não são mais que outro modo de apresentar os coeficientes de actividade.

6.4.6 — *Soluções regulares*

Uma solução diz-se *regular* quando o seu excesso molar de entropia é nulo, isto é, quando se forma com a mesma variação de entropia que ocorreria se a solução resultasse ideal.

Em relação a estas soluções prova-se ser

$$\ln \gamma_1 = \frac{A\,x_2^2}{(x_2 + B\,x_1)^2}$$

e

$$\ln \gamma_2 = \frac{A\,x_1^2}{\left(x_1 + \frac{x_2}{B}\right)^2}$$

6.4.7 — *Soluções estrictamente regulares*

Uma solução regular diz-se *estrictamente regular* se nas fórmulas dadas no parágrafo anterior para $\ln \gamma_1$ e $\ln \gamma_2$ for $B = 1$, isto é, para estas soluções temos:

$$\ln \gamma_1 = A\,x_2^2$$

e

$$\ln \gamma_2 = A\,x_1^2$$

ou, o que é o mesmo

$$\log \gamma_1 = K\,x_2^2$$

e

$$\log \gamma_2 = K\,x_1^2$$

6.4.8 — *Diagrama de Chipman*

Dada uma solução qualquer, se num gráfico representarmos log γ_1 em ordenadas e x_2^2 em abcissas, podemos obter os seguintes tipos de curvas:

— uma horizontal de ordenada zero — trata-se de uma solução ideal;

— uma recta inclinada — trata-se de uma solução estrictamente regular;

— Uma curva menos simples — trata-se de uma solução simplesmente regular.

— Uma curva ainda mais complexa (normalmente com um ponto de inflexão) — trata-se de uma solução não regular.

A esta representação gráfica que permite classificar imediatamente uma solução é que chamamos *diagrama de Chipman.*

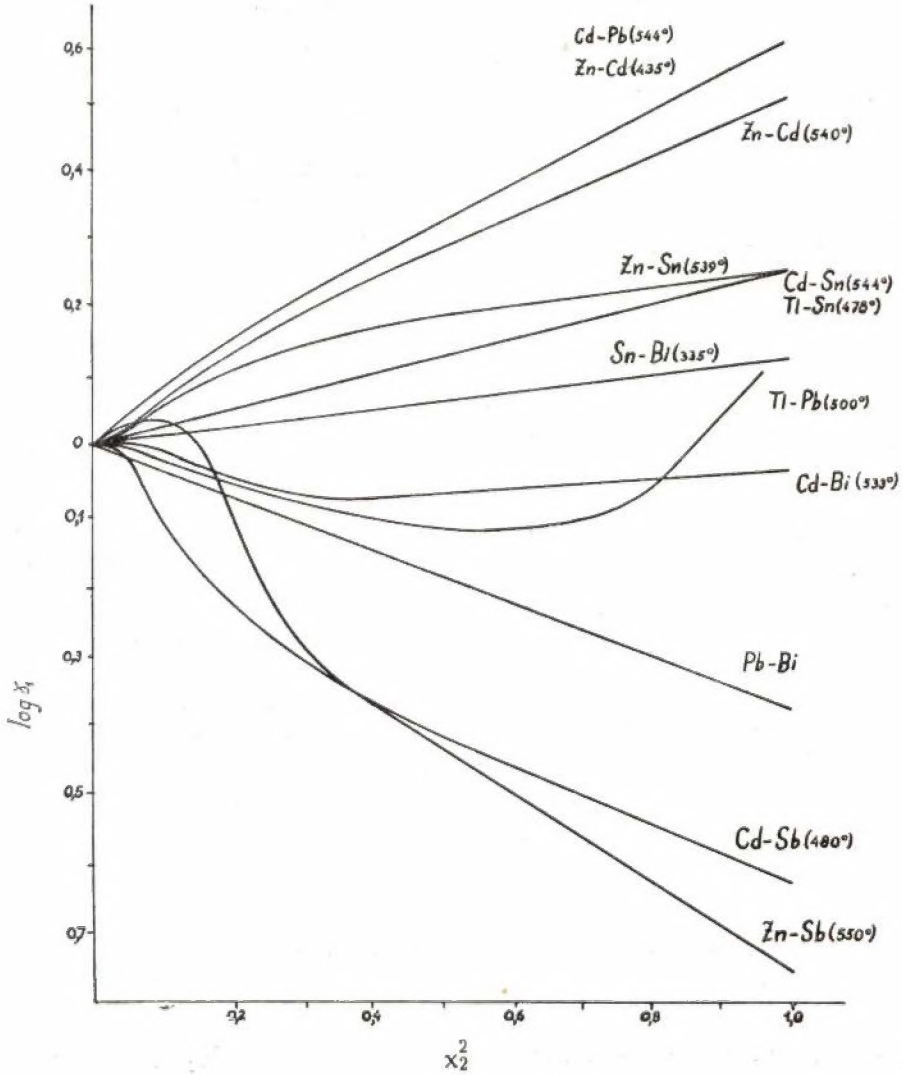
A figura junta refere-se ao logaritmo da actividade do elemento considerado em primeiro lugar, nas soluções dos dois elementos referidos e à temperatura considerada (temperatura em graus Celsius).

Vê-se fàcilmente que constituem soluções estritamente regulares:

Pb em Pb-Bi
Sn em Sn-Bi
Cd em Cd-Sn
Tl em Tl-Sn
Cd em Cd-Pb } próximo de estritamente
Zn em Zn-Cd } regular

Afastam-se bastante da regularidade:

Zn em Zn-Sb
Cd em Cd-Sb
Tl em Tl-Pb
Cd em Cd-Bi



6.5 — Aplicações (1)

6.5.1 — *Repartição de um constituinte por duas soluções binárias imiscíveis*

Sejam dois solventes — *1* e *2* — que misturados originam duas soluções imiscíveis — *1* e *2* — assim caracterizadas: a solução *1* é mais rica no solvente *1* e a solução *2* é mais rica no solvente *2*.

O nosso problema consiste em determinar como um terceiro constituinte se reparte por estas duas soluções quando as condições de equilíbrio são atingidas.

De 6.3.1 concluímos que no equilíbrio será:

$$\frac{a_{3/1}^{(n)}}{a_{3/2}^{(m)}} = \frac{\gamma_{3/1}^{(n)} \cdot x_{3/1}}{\gamma_{3/2}^{(m)} \cdot x_{3/2}} = C^{te} \text{ (2)}$$

Interessa agora saber quando haverá um *coeficiente de repartição*, isto é, quando haverá uma constante K tal que

$$\frac{x_{3/1}}{x_{3/2}} = K$$

ou seja, quando será

$$\frac{\gamma_{3/1}^{(n)}}{\gamma_{3/2}^{(m)}} = C^{te}$$

É fácil de ver que esta condição é satisfeita quando:

1.º — $\gamma_{3/1}^{(n)}$ e $\gamma_{3/2}^{(m)}$ são constantes, isto é, quando 3 estiver suficientemente diluído nas soluções *1* e *2* para que a lei de Henry se aplique. Daqui se conclui:

— que no estudo destes casos é especialmente cómodo a consideração dos estados standards soluções infinitamente diluídas;

— que quando há coeficiente de repartição em relação às fracções molares, também o haverá, normalmente, em relação às percentagens, isto é, teremos também

$$\frac{c_{3/1}}{c_{3/2}} = C^{te}$$

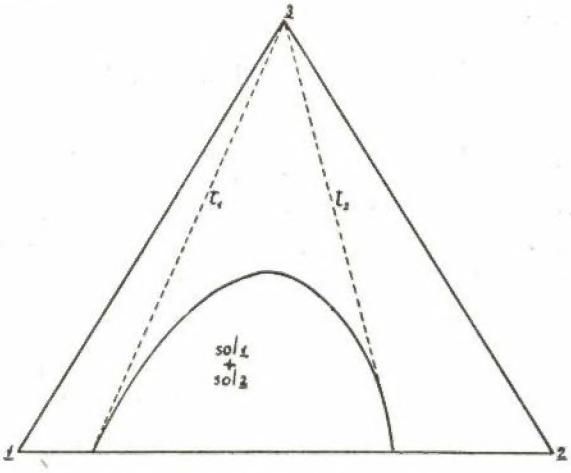
(1) Salvo afirmação explícita em contrário, supomos sempre a temperatura e a pressão constantes.

(2) Os índices 3/1 e 3/2 significam, respectivamente, «do constituinte *3* na solução *1*» e «do constituinte *3* na solução *2*».

2.º — A introdução do constituinte *3* nas soluções *1* e *2* não as altera, isto é, não afecta as solubilidades recíprocas de *1* e *2* (1).

Isto ocorre quando na secção isotérmica do diagrama ternário *1*, *2* e *3* passarem pelo vértice *3* as tangentes à fronteira de imiscibilidade das soluções *1* e *2* nos pontos em que é $x_3 = 0$ e enquanto essa fronteira se puder considerar coincidente com as ditas tangentes; isto quere dizer que as concentrações em *3* para as quais ainda há coeficiente de repartição (por este motivo) depende também da aproximação com que se queira trabalhar.

A figura junta concretiza o que se acaba de referir.



6.5.2 — *Condições de equilíbrio entre duas fases relativas a uma mesma substância pura*

Seja uma mole de uma substância pura — S — que à temperatura T sofre a seguinte transformação de fase:

$$S^{\alpha} \rightarrow S^{\beta}$$

Como sabemos é

$$G^{\alpha} = R\,T \ln P^{\alpha} + C^{te}$$

$$G^{\beta} = R\,T \ln P^{\beta} + C^{te}$$

ou seja

$$\Delta G = R\,T \ln \frac{P^{\beta}}{P^{\alpha}}$$

e será então:

$\Delta G = 0$ (S^{α} em equilíbrio com S^{β}) se $P^{\beta} = P^{\alpha}$

$\Delta G < 0$ (S^{α} pode transformar-se expontâneamente em S^{β}) se $P^{\beta} < P^{\alpha}$

(1) De outro modo alterar-se-iam, eventualmente, $\gamma_{3/1}$ e $\gamma_{3/2}$.

$\Delta G > 0$ (S^β pode transformar-se expontâneamente em S^α) se $P^\beta > P^\alpha$

Da expressão de ΔG conclui-se que

$$\log \frac{P^\alpha}{P^\beta} = -\left[\frac{\Delta H_T}{4{,}575\ T} - \frac{\Delta S_T}{4{,}575}\right]$$

Consideremos ΔH_T e ΔS_T independentes de T (1) e com a seguinte expressão:

$\Delta H_T = L$ (calor latente relativo à temperatura de transição — T_t — isto é, em que a transformação se dá reversìvelmente, ou seja, quando $P^\beta = P^\alpha$)

$$\Delta S_T = \frac{L}{T_t}$$

será

$$\log \frac{P^\alpha}{P^\beta} = -\frac{L}{4{,}575}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_t}\right)$$

equação que nos dá, a cada temperatura, a relação entre as tensões de vapor de uma fase não estável e da fase estável (notar que aqui T não é uma temperatura de equilíbrio, o que o diferencia do mesmo T considerado nos parágrafos seguintes).

Caso particular: Se α é a fase sólida e β a fase líquida, e se L_f e T_f são os valores relativos à fusão, temos:

$$\log \frac{P^S}{P^L} = -\frac{L_f}{4{,}575}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_f}\right)$$

6.5.3 — *Condições de equilíbrio entre uma solução binária e um dos seus constituintes puros.*

Sejam as substâncias *1* e *2* formando uma solução β na qual *1* é o solvente.

Suponhamos que à temperatura T, a substância *1* pura precipita da solução β sob a forma α.

Seja P_1^α e P_1^β as tensões de vapor de *1* puro, respectivamente, nas fases α e β. Seja P_1 a tensão de *1* na solução em consideração, isto é, na fase β e com uma determinada concentração (por hipótese $x_1 \neq 1$).

Se *1* puro α está em equilíbrio com a solução, será:

$$P_1^\alpha = P_1 = a_1^\beta\ P_1^\beta \text{ (2)}$$

(1) Apenas aproximadamente verdadeiro para intervalos de T não muito grandes.

(2) a_1^β é a actividade de *1* na solução β considerando como estado standard *1* puro na forma β.

e, aplicando a fórmula do parágrafo anterior, vem:

$$\log \frac{P_1}{P_1^\beta} = \log a_1^\beta = -\frac{L}{4{,}575}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{1t}}\right)$$

em que

L_1 — variação de entalpia para a transformação:

$$1\ (\alpha \text{ puro}) \rightarrow 1\ (\beta \text{ puro})$$

T_{1t} — temperatura de equilíbrio entre as fases α e β de *1* puro

T — *temperatura de equilíbrio* entre 1 puro na fase α e a solução considerada.

Se a solução é ideal ou se se considera apenas a região em que a lei de Raoult se aplica, será:

$$\log x_1 = -\frac{L_1}{4{,}575}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{1t}}\right)$$

Se β é uma solução líquida e α o solvente puro sólido que precipita a T em *condições de equilíbrio*, sendo L_{1f} o calor de fusão de *1* puro, T_{1f} a temperatura de fusão de *1* puro e a_1 a actividade de *1* na solução, será:

$$\log a_1 = -\frac{L_{1f}}{4{,}575}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{1f}}\right)$$

Se a solução é ideal, x_1 substituirá a_1 e esta equação não será mais que a equação do «liquidus» na hipótese de *2* ser completamente insolúvel em 1 sólido. Notar que esta curva é independente de *2* (1); a influência de *2* far-se-á sentir apenas no aparecimento do ponto eutético que, para a hipótese de *1* em *2* também formar uma solução ideal no estado líquido e de *1* ser completamente insolúvel em *2* no estado sólido, será a intersecção da curva referida com a representada pela seguinte equação (agora independente de *1*)

$$\log x_2 = -\frac{L_f}{4{,}575}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{2f}}\right)$$

6.5.4 — *Condições de equilíbrio entre duas soluções binárias dos mesmos constituintes*

Sejam agora dois constituintes *1* e *2* formando uma solução β de onde precipita, à temperatura T, a solução α.

(1) Na condição de solução ideal.

Seja *1* o solvente e

P_1^β — tensão de *1* puro na forma β

P_1^α — tensão de *1* puro na forma α

P_1 — tensão de *1* quer na solução α quer na solução β (são iguais porque, por hipótese, as duas soluções estão em equilíbrio)

a_1^α — actividade de *1* na solução α (estado standard *1* puro na forma α)

a_1^β — actividade de *1* na solução β (estado standard *1* puro na forma β)

T_{1t} — temperatura de equilíbrio entre *1* puro na forma α e *1* puro na forma β

L_1 — entalpia da transformação:

$$1\ (\alpha \text{ puro}) \rightarrow 1\ (\beta \text{ puro})$$

Será, evidentemente

$$P_1 = a_1^\alpha P_1^\alpha = a_1^\beta P_1^\beta$$

e

$$\log \frac{P_1^\alpha}{P_1^\beta} = \log \frac{a_1^\beta}{a_1^\alpha} = -\frac{L_1}{4{,}575}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{1t}}\right)$$

Se a solução α for ideal ou se x_1^α for muito próximo de *1*, de tal modo que a lei de Raoult se aplique à fase α, será

$$\log \frac{a_1^\beta}{x_1^\alpha} = -\frac{L_1}{4{,}575}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{1t}}\right)$$

e se o mesmo se dá também com a solução β, será

$$\log \frac{x_1^\beta}{x_1^\alpha} = -\frac{L_1}{4{,}575}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{1t}}\right)$$

Se β é uma solução líquida e α uma solução sólida e se *1* e *2* são completamente solúveis no estado sólido e no estado líquido e ambas as soluções são ideais, as 4 equações seguintes:

$$x_1^L + x_2^L = 1$$

$$x_1^S + x_2^S = 1$$

$$\log \frac{x_1^L}{x_1^S} = -\frac{L_{1f}}{4{,}575}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{1f}}\right)$$

$$\log \frac{x_2^L}{x_2^S} = -\frac{L_{2f}}{4{,}575}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{2f}}\right)$$

permitem calcular as curvas «liquidus» e «solidus» (limites da região (L + S)).

Observações: 1.º — Notar que para um mesmo T, x_1^L será tanto menor quanto menor for x_1^S, isto é, a curva «liquidus» desce tão mais de vagar quanto mais pobre for a fase sólida no solvente. Em particular, podemos dizer que a circunstância de precipitar da fase líquida uma solução sólida em vez do solvente puro promove uma elevação do «liquidus»;

2.º — Também é fácil de verificar que conforme a solução líquida seja de desvio positivo ou negativo, assim o «liquidus» se situará mais acima ou mais abaixo;

3.º — De igual modo se constata que se de uma solução líquida precipita uma solução sólida com uma dada concentração no solvente, o «liquidus» situar-se-á tanto mais elevado quanto menor for o coeficiente de actividade do solvente na solução sólida.

6. 5. 5 — *Determinação dos diagramas de equilíbrio*

Conforme se disse na Metalurgia Geral, um diagrama de equilíbrio é uma expressão gráfica onde são indicadas, para as diversas temperaturas e composições, o número, natureza e composição das fases que se encontram em equilíbrio termodinâmico quando *n* constituintes são considerados em conjunto.

Neste momento sabemos já que:

1.º — As condições de equilíbrio a temperatura e pressão constantes correspondem a um mínimo para a entalpia livre;

2.º — A realização da condição anterior implica a igualdade, em todas as fases, dos potenciais químicos dos diversos constituintes ou, o que é o mesmo, das entalpias livres parciais molares.

Do que se acaba de referir se conclui que será fácil determinar um diagrama de equilíbrio se se souber calcular, para as diversas temperaturas, as entalpias livres das várias fases possíveis consideradas em todas as composições.

Para exemplificar, estudemos uma liga binária a uma dada temperatura onde as fases α e β são possíveis.

Consideremos num gráfico a evolução das entalpias livres das fases α e β com a concentração x_1 de um dos constituintes da liga (a uma dada temperatura T_1).

Dois casos se podem dar:

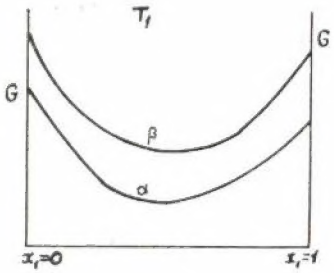


Fig. 1

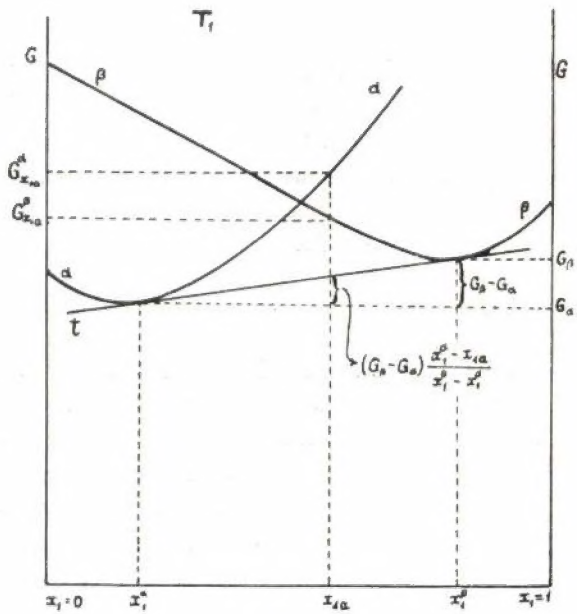


Fig. 2

— as duas curvas não se cortam (figura 1): para todas as concentrações será a fase α a única estável (o sistema será sempre monofásico).

— as duas curvas cortam-se (figura 2). Comecemos então por traçar a tangente comum (seja t cujos pontos de tangência são x_1^α e x_1^β) e tenhamos presente:

- o teorema das intersecções (número 4.º do parágrafo 2.2.4);
- a necessidade das entalpias livres parciais molares serem iguais em todas as fases de um sistema heterogéneo em equilíbrio;
- a necessidade de uma liga composta de duas fases ter uma composição situando-se no intervalo limitado pelas composições dessas duas fases (Metalurgia Geral e questão evidente).

Podemos agora concluir:

1.º — Só no intervalo $x_1^\alpha - x_1^\beta$ podem coexistir as fases α e β;

2.º — Nos intervalos $0 - x_1^\alpha$ e $x_1^\beta - 1$ o sistema em equilíbrio será, então, monofásico sendo as fases estáveis α e β, respectivamente.

Vejamos agora qual o estado de equilíbrio do sistema no intervalo $x_1^\alpha - x_1^\beta$ no qual vimos já *ser possível* a coexistência de α e β, o que, a dar-se, corresponderá a α com a composição x_1^α e a β com a composição x_1^β.

Seja a composição global da liga x_{1a} e calculemos a entalpia livre do sistema nos três casos (vidé fig. 2):

— *Sistema monofásico com fase* α; será

$$G = G^\alpha_{x_1 a}$$

— *Sistema monofásico com fase* β; será

$$G = G^\beta_{x_1 a}$$

— *Sistema com duas fases* α *e* β; tendo em conta a regra da alavanca (1) e que G_α e G_β são as entalpias livres das fases α e β com x_1^α e x_1^β, respectivamente, será:

$$G = G^{\alpha,\beta}_{x_1 a} = \frac{x_1^\beta - x_{1a}}{x_1^\beta - x_1^\alpha} G_\alpha + \frac{x_{1a} - x_1^\alpha}{x_1^\beta - x_1^\alpha} G_\beta =$$

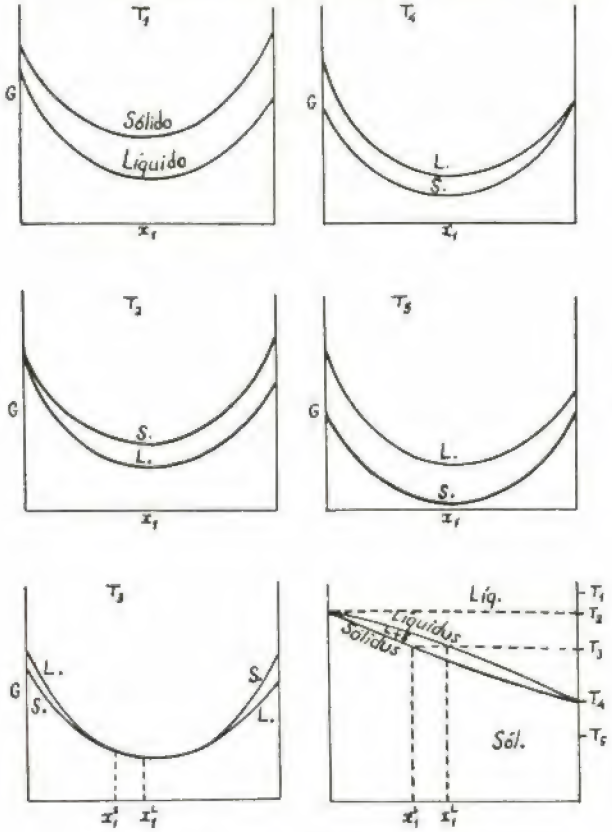
$$= G_\alpha + (G_\beta - G_\alpha) \frac{x_1^\alpha - x_{1a}}{x_1^\beta - x_1^\alpha}$$

Conclusão: No intervalo $x_1^\alpha - x_1^\beta$ o estado de equilíbrio da liga corresponde à coexistência das duas fases α e β porque isso implica a menor entalpia livre.

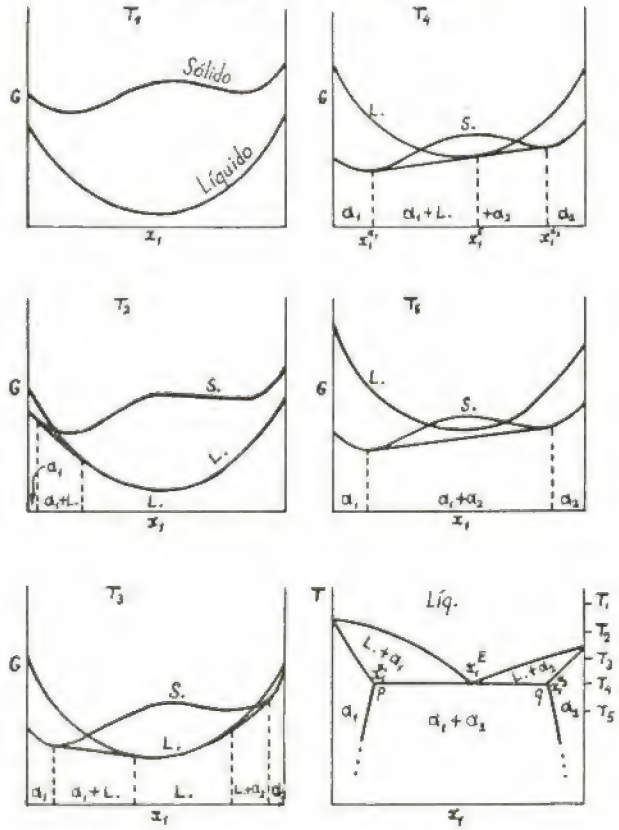
As figuras que se seguem mostram claramente as variações relativas das entalpias livres da fase líquida e das fases sólidas possíveis, durante o arrefecimento, que originam os quatro tipos mais importantes de diagramas.

(1) Vidé Metalurgia Geral.

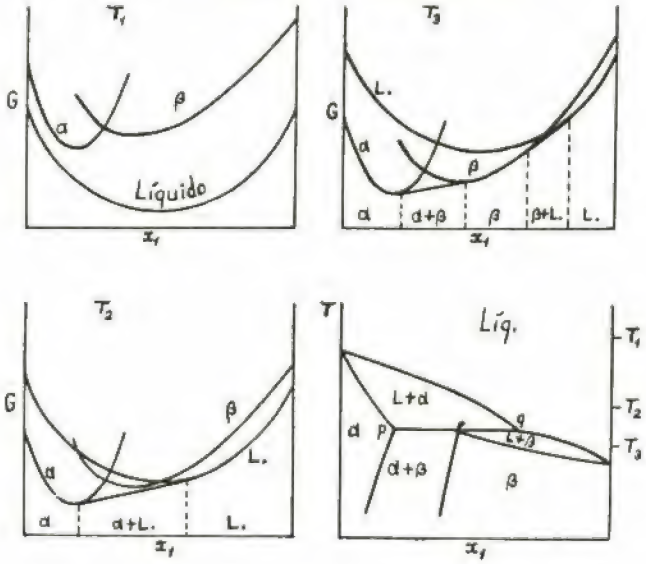
I — *Solubilidade completa nas fases líquida e sólida*



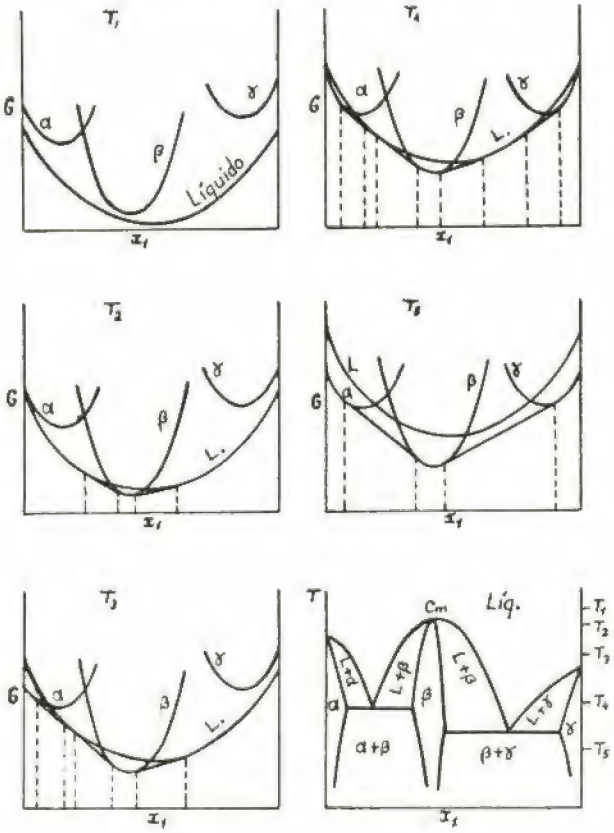
II — *Caso geral de reacção eutética*



III — *Caso geral de reacção peritética*



IV — *Caso geral de formação de uma fase secundária*



Observações: 1.º — A aplicação dos princípios expostos ao estudo das ligas binárias, tal como acabamos de fazer, pode estender-se a quaisquer outros tipos de ligas: ternárias, quater-

nárias, etc. Os princípios são sempre os mesmos, se bem que as expressões sejam cada vez mais complicadas e os dados disponíveis cada vez mais raros.

2.º — O que fica referido pode levar à conclusão de que o estudo dos diagramas de equilíbrio se faz fàcilmente, pelo menos em princípio, a partir dos diversos dados termoquímicos e químico-físicos disponíveis. Esta conclusão, porém, não corresponde bem à realidade prática que apresenta antes o aspecto seguinte: é precisamente a partir dos diagramas de equilíbrio, *determinados experimentalmente* como referimos na Metalurgia Geral, que muitos dados químico-físicos são obtidos.

(Continua)

TRANSFORMADORES
ENAE
LICENÇA SIEMENS-SCHUCKERT
ATÉ
1600 kVA
35 kV
DA CONCEPÇÃO AO
ENSAIO
O RIGOR E O
CUIDADO QUE FAZEM
AS OBRAS PERFEITAS
EMPRESA NACIONAL DE APARELHAGEM ELECTRICA — AV. 24 DE JULHO, 158 — LISBOA

FABER-
CASTELL
PARA QUALQUER CÁLCULO,
PARA QUALQUER PROFISSÃO, PREFIRA SEMPRE AS
FAMOSAS RÉGUAS DE
CÁLCULO CASTELL
VENDEM-SE EM TODO O PAÍS NAS BOAS PAPELARIAS E CASAS DA ESPECIALIDADE

C. D. U. 622.257.9

Aplicação do processo da gaiola para abertura de chaminés verticais nas Minas da Panasqueira(*)

PELO ENG.º DE MINAS I. S. T. FERNANDO DE MELLO MENDES

Julgamos que o processo da gaiola para abertura de chaminés verticais é pouco conhecido da maioria dos mineiros portugueses. Por isso parece-nos de interesse apresentar, a par da descrição geral do processo e da enumeração das suas vantagens e limitações, o caso concreto da sua aplicação nas Minas da Panasqueira.

I — Descrição geral do processo. Suas vantagens e limitações.

O processo da gaiola para abertura de chaminés verticais consta de duas fases: na primeira é feita uma sondagem com diâmetro conveniente ligando, na vertical, os locais de início e de fim da chaminé; na segunda, que é, pròpriamente, a fase de abertura, o pessoal trabalha no escombramento, perfuração e carregamento dos tiros utilizando como andaime uma gaiola suspensa dum cabo que, passando através do furo de sonda anteriormente aberto, é manobrado por um guincho colocado superiormente.

Em relação ao processo clássico de abertura de chaminés o processo da gaiola apresenta as seguintes vantagens:

1 — Muito maior segurança para o pessoal.
Com uma gaiola convenientemente projectada é possível realizar pràticamente todas as operações perigosas *com a cabeça protegida*. Evitam-se, também, os riscos provenientes da subida e descida de escadas e andaimes fixos.

2 — Melhores condições de ventilação.
A existência do furo central tira ao local de trabalho as características de «fundo de saco», reduzindo-se os riscos de acidentes originados pela permanência dos gases dos explosivos. Por outro lado, é possível utilizar aquele furo para a introdução de ar comprimido como auxiliar da ventilação (3).

3 — Muito maior velocidade de avanço.
Não só se evitam, completamente, os tempos gastos em emadeiramentos, remoção de escombros dos andaimes, reconstituição destes e das escadas de acesso, como se reduzem os correspondentes ao escombramento e à subida e descida do equipamento de perfuração. As melhores condições de ventilação permitem, também, aproximar mais os turnos de trabalho correspondentes a pegas de fogo sucessivas.

4 — Possibilidade de prospecção prévia da zona a atravessar.
A sondagem para a abertura do furo central pode fornecer dados geológicos de grande interesse. Em alguns casos estes dados podem levar a concluir da inutilidade da abertura da chaminé.

5 — Custos geralmente mais baixos.
Com o processo da gaiola o custo do metro de avanço da chaminé aumenta, com a altura desta, muito mais lentamente que com o processo clássico. Se o custo do furo central for lançado na conta de Prospecção do jazigo, o processo da gaiola será, sempre, mais económico que o processo clássico.

As limitações do processo da gaiola são, relativamente, poucas:

1 — Necessidade de terreno suficientemente firme para permitir trabalhar sem emadeiramento.

(*) À *Berali Tin & Wolfram, Ltd.*, o A. agradece a autorização para a publicação deste artigo.

2—Existência prévia de acesso ao local superior onde a chaminé irá terminar.

3—Número de chaminés a abrir suficiente para justificar a aquisição do equipamento mecânico necessário.

Desde que o processo da gaiola tenha aplicabilidade e, principalmente, tratando-se de chaminés de alturas apreciáveis, as razões de segurança para o pessoal podem impor, só por si, a sua utilização.

Foram razões de segurança, antes de quaisquer outras, que levaram a ensaiar o processo nas Minas da Panasqueira onde, agora, é obrigatório. O processo clássico foi posto, completamente, de parte, considerado como perigoso.

Hoje em dia são já, relativamente, numerosas na literatura da especialidade as referências ao processo da gaiola, se atendermos a que a sua expansão pode considerar-se recente.

A mais antiga referência (5) que encontrámos data de 1942 e diz respeito, ao que supomos, à mina portuguesa de S. Domingos, onde o processo é usado, com êxito, há já bastantes anos.

Nas Minas da Panasqueira o processo da gaiola começou a ser ensaiado em Julho de 1955. De então para cá, ao mesmo tempo que se foram resolvendo várias dificuldades inerentes à sua aplicação, foram-se introduzindo modificações tendentes a aumentar a sua segurança, a sua eficiência e a sua economia.

II — Utilização do processo nas Minas da Panasqueira.

Normalmente, utiliza-se hoje, para a abertura do furo central prévio, uma sonda Joy-Sullivan, tipo 22-HD, equipada com motor de ar comprimido e trabalhando com coroas de diamantes NX (*).

Inicialmente, usou-se uma sonda de grenalha fazendo furação com 101 mm de diâmetro. Porém, a pouca eficiência dessa sonda na perfuração dos tipos de rochas existentes nas Minas da Panasqueira levou a substitui-la por uma sonda equipada com coroas de diamantes, embora se mantivesse, nessa substituição, o diâmetro do furo a abrir.

(*) Diâmetro aproximado do furo: 75 mm.

Reconheceu-se, mais tarde, ser possível reduzir esse diâmetro para 75 mm, o que se fez passando a utilizar coroas normalizadas NX, muito mais eficientes e económicas que as anteriormente usadas.

O furo com 75 mm de diâmetro é suficiente para passarem através dele, simultâneamente, sem se danificarem, o cabo de suspensão da gaiola (5/8" de diâmetro), um cabo telefónico de ligação entre o pessoal da gaiola e o do guincho e os fios condutores para o disparo das pegas de fogo.

A abertura de furos com 101 mm de diâmetro tinha a sua principal justificação na ideia inicial de descer, também, por eles as mangueiras de ar comprimido e de água para alimentação dos martelos perfuradores que trabalhariam nas gaiolas. Porém, aquela prática mostrou-se sem vantagens em relação à de fazer a alimentação dos martelos a partir de baixo.

A abertura de furos com 101 mm de diâmetro também não se mostrou especialmente vantajosa quanto a melhor eficiência no rebentamento de pegas de fogo do tipo «burn-cut», como inicialmente se pensava.

Para dar uma ideia dos aumentos de eficiência conseguidos com a mudança do tipo de sonda e a redução do diâmetro do furo indicamos as velocidades médias de perfuração respectivas:

Sonda de grenalha, furo com 101 mm de diâmetro — 0,11 m/h

Sonda de diamantes, furo com 101 mm de diâmetro — 0,22 m/h

Sonda de diamantes, furo com 75 mm de diâmetro — 0,33 m/h.

O diâmetro mínimo do furo é hoje limitado pelas dimensões do gancho terminal do cabo para o engate na gaiola.

Normalmente, as sondagens para a obtenção de furos centrais são feitas de cima para baixo. Contudo, são feitas de baixo para cima quando estão integradas na prospecção dum bloco do jazigo e a abertura dos trabalhos de traçagem superiores desse bloco depende do valor da mineralização encontrada.

Na execução das sondagens tem-se o máximo cuidado na conservação da verticalidade do furo para que, mais tarde, o cabo de suspensão da gaiola trabalhe, tanto quanto possível, sem atrito.

Para verificação periódica da verticalidade das sondagens utiliza-se um aparelho Tro - Pari de «cardan» e bússola, com travagem por sistema de relojoaria.

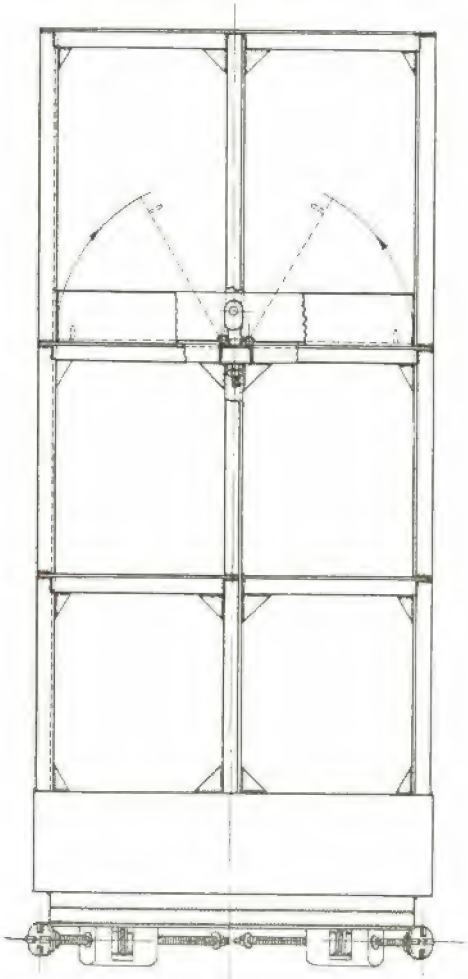
A perfeita verticalidade do furo não é, contudo, essencial para a aplicação do processo, sendo possível o aproveitamento de furos com pequenas inclinações. Tal prática, porém, não é aconselhável e exige, por segurança, redobrados cuidados na fiscalização do cabo de suspensão da gaiola.

A este respeito podemos dizer, a título informativo, que já se conseguiu aproveitar, para a abertura duma chaminé, um furo que apresentava, numa distância apreciável, um desvio de 23° em relação à vertical. Na literatura que conhecemos não encontrámos descrição de nenhum caso análogo; apenas W. Loftus e G. Thorburn (3) prevêem a aplicação do processo à abertura de chaminés pouco inclinadas, mas utilizando gaiolas especialmente preparadas para se moverem apoiadas na parede das chaminés.

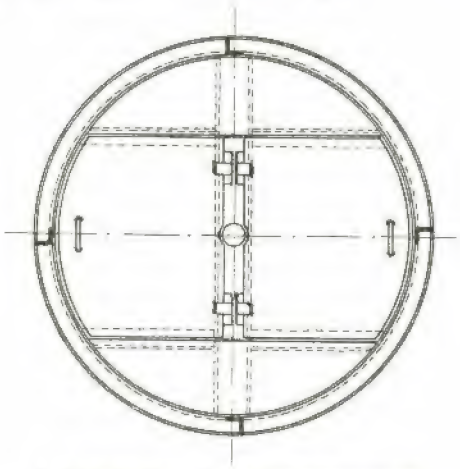
Para a instalação da sonda Joy-Sullivan 22-HD é necessário um alargamento com 5 × 3 m de base e 4,5 m de altura, trabalhando a sonda com varas de 3 m.

Na fase pròpriamente de abertura da chaminé começa por fazer-se, a partir da sua origem e pelo processo clássico, um troço com altura correspondente à da gaiola a utilizar. Este trabalho só é necessário se a sondagem foi feita de cima para baixo pois, no caso contrário, o alargamento feito para a instalação da sonda é mais do que suficiente.

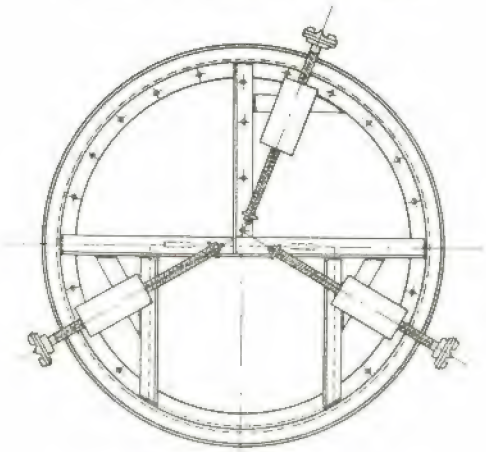
Para a abertura das chaminés correntes, de secção circular com 1,5 m de diâmetro, utiliza-se a gaiola que apresentamos na figura.



ALÇADO



VISTA SUPERIOR



VISTA INFERIOR

0 0,5 1,00 2,00 m

O piso inferior destina-se ao transporte do pessoal, martelo pneumático, seus acessórios, mangueiras e restantes ferramentas. Dois alçapões, existentes na plataforma superior, permitem fazer, a partir daquele piso, o escombramento da chaminé *com a cabeça protegida*. As restantes operações a realizar no cimo da chaminé são feitas com o pessoal no piso superior.

Durante toda a sua permanência na gaiola o pessoal que trabalha na chaminé está em contacto com o operador do guincho por meio dum telefone de campanha cujo cabo passa, como já dissemos, através do furo central.

Ao chegar ao local de trabalho a gaiola é fixada ao astial da chaminé por meio de três macacos de roquete a fim de evitar não só que balance, o que tornaria o trabalho difícil, mas também que sobre o cabo de suspensão se exerçam esforços desnecessários, provenientes da queda de blocos de rocha sobre a gaiola durante o escombramento, da transmissão dos impulsos do martelo pneumático durante a perfuração, etc..

De início utilizou-se uma gaiola com um único piso, coberto por três sectores de chapa perfurada, móveis, que permitiam fazer todo o trabalho, quer de escombramento, quer de perfuração, *com a cabeça protegida*. Porém, verificou-se que, para as dimensões da gaiola utilizada e da chaminé a abrir, não era possível dar aos martelos pneumáticos as inclinações convenientes à execução duma pega de fogo de boa eficiência.

Modificou-se, por isso, a gaiola, acrescentando-lhe o piso superior descoberto, o que, pràticamente, não diminuiu a segurança do processo uma vez que o trabalho de escombramento se continuou o fazer com o pessoal protegido.

No fundo do piso inferior da gaiola existe um alçapão que constitui saída de emergência, prevendo a hipótese, até agora nunca verificada, de encravamento da gaiola na chaminé. Também, atendendo a essa hipótese, a gaiola está sempre equipada com uma escada de corda.

Aquele alçapão também serve para içar, convenientemente embalados, os explosivos destinados ao carregamento das pegas de fogo.

Para a perfuração utilizam-se martelos pneumáticos Holman Silver Bullet e barrenas com cortante de metal duro. Os martelos são providos de pé pneumático, adaptado lateralmente por meio de braçadeiras.

Abrem-se, normalmente, pegas de caldeira central com um total de 12 tiros perfazendo 14,6 m de furação. Estas pegas consomem, em média, para um avanço, também médio, de 1,2 m, cerca de 14 kg de Gelamonite 33 % NG.

Os disparos são feitos elèctricamente, usando-se cápsulas simplesmente retardadas.

Durante a perfuração tem-se especial cuidado com a colocação dos escantilhos, para que a chaminé não estreite, impedindo a livre subida da gaiola no turno de trabalho seguinte.

Tentou-se, inicialmente, utilizar o furo central como furo não carregado, em pegas de fogo do tipo «burn-cut». Ensaiaram-se, nesse sentido, vários modos de disposição dos tiros. Com todos eles, porém, o furo central encravava-se, quase sempre, com a primeira descarga, tirando toda a eficiência à pega. Este facto levou a por de parte esses tipos de diagramas de fogo (*).

Com as pegas de caldeira central consegue-se completa eficiência dos disparos mas não se evita, também, geralmente, o encravamento do furo central.

A desobstrução daquele furo, após cada pega, constituiu o maior problema a resolver para a aplicação deste processo de abertura de chaminés.

Tentaram-se, primeiro, os desencravamentos por meio de água, por meio de trépanos e por meio de explosivo, mas os resultados foram sempre maus e as operações morosas e difíceis.

Finalmente, optou-se por um sistema que está a dar excelentes resultados: desobstrução por meio duma pequena sonda auxiliar (utiliza-se, actualmente, uma sonda Boyles BBU-Júnior), trabalhando com uma coroa usada XRT ou EX.

Esta sonda, que se mantém sempre montada junto do guincho, actua no início dos turnos, ràpidamente, sempre que se verifica que o furo ficou obstruído por efeito do disparo anterior. As perdas de tempo resultantes são, pràticamente, insignificantes.

O guincho utilizado para a monobra da gaiola é accionado por um motor Holman de ar comprimido, de 6,5 CV. A velocidade do cabo é de 2,8 m/min.

Uma andorinha, montada num cavalete apropriado, permite centrar perfeitamente o cabo com o furo de sonda.

(*) Modos de proceder comparáveis, devidos à mesma causa, são relatados em trabalhos referentes a outras minas (4).

Primeiramente, usou-se accionamento manual para o guincho, mas as operações de subida e descida da gaiola eram excessivamente lentas.

O accionamento por motor eléctrico não foi, ainda, adoptado por se recear que qualquer encravamento da gaiola, durante a subida, não seja, fàcilmente, percebido pelo guincheiro, o que poderá levar à rotura do cabo.

O cabo, com 5/8" de diâmetro, é de construção antigiratória, 6 × 19.

De começo usaram-se cabos de construção Lang mas, além de outros inconvenientes, acontecia quase sempre, ao desengatar a gaiola, no final das pegas, o cabo torcer-se e arrancar as ligações eléctricas preparadas para os disparos.

Para protecção destas ligações fixam-se os fios respectivos, depois de bem puxados a um lado do furo central, a um taco de madeira, cravado num pequeno furo que o marteleiro, prèviamente, fez com o martelo, quando da abertura da pega de fogo.

Em local junto do guincho, o cabo telefónico e os fios de ligação das pegas ao disparador são acondicionados em pequenos tambores portáteis.

Na fase de trabalho com a gaiola, trabalham nas chaminés equipas de três homens: dois deles, um dos quais é marteleiro com habilitações de carregador, procedem à remoção do escombro da pega de fogo anterior e trabalham na gaiola; o terceiro, normalmente um sondador ou ajudante de sondador, trabalha com o guincho e com a sonda auxiliar para desencravamento do furo central.

A preparação das cargas de explosivo e a sua condução até ao local do trabalho são feitas por pessoal especializado, independente, como é prática corrente na exploração das Minas da Panasqueira.

É evidente que se poderia aumentar a velocidade do avanço das chaminés abertas por este processo, desde que se utilizasse pessoal adicional para a remoção e carregamento do escombro proveniente das pegas de fogo. Tal não se faz, usualmente, por não convir rebentar fogo senão no fim dos turnos, para não espalhar os gases provenientes dos explosivos pelos restantes locais da mina onde se encontra pessoal trabalhando.

Os últimos 4 m das chaminés são abertos como poço, trabalhando o pessoal preso por cordas e cintos de segurança.

Um ciclo completo de trabalho com a gaiola compreende as seguintes fases:

1. Chegadas as duas partes da equipa aos respectivos locais de trabalho, enquanto o marteleiro e o ajudante preparam as suas ferramentas e utensílios, o guincheiro desce pelo furo o cabo telefónico verificando, com ele, se o furo ficou ou não obstruído pelo disparo anterior.

2. O marteleiro e o ajudante iniciam a remoção e o carregamento (geralmente, com o auxílio de pá carregadeira mecânica) do escombro proveniente da pega anterior e o guincheiro, se o furo se encontra obstruído, desencrava-o com a sonda auxiliar.

3. O guincheiro desce o cabo telefónico até ao marteleiro e ao ajudante, que o ligam ao telefone de campanha que trazem consigo. Fica, assim, estabelecido contacto entre as duas partes componentes da equipa.

4. Quando o marteleiro e o ajudante terminam a remoção e o carregamento do escombro pedem ao guincheiro para fazer descer, pelo furo, o cabo de suspensão da gaiola. O guincheiro desenrola o cabo devagar, inspeccionando-o criteriosamente.

5. Chegada a ponta do cabo ao fundo, o marteleiro e o ajudante engatam a gaiola verificando, cuidadosamente, se o gancho de suspensão ficou bem fechado.

6. Concluída esta verificação, a gaiola é colocada na prumada da chaminé com o auxílio do guincho.

7. O marteleiro e o ajudante entram para o piso inferior da gaiola com todo o seu equipamento e ordenam ao guincheiro que inicie a subida. Esta é feita com precaução, sempre comandada telefònicamente pelos homens da gaiola.

8. Quando a gaiola chega ao local de trabalho os seus ocupantes fixam-na por meio dos macacos a isso destinados.

9. Seguidamente, abrem um dos alçapões do segundo piso (mantendo sempre, para protecção, o outro alçapão fechado) e procedem, com ponteirolas, ao saneamento do tecto da chaminé.

10. Depois, passando ao piso superior, completam-no, já sem perigo de queda de grandes blocos.

11. Terminado o saneamento, o material proveniente deste é removido do piso superior da gaiola, sendo partidos os blocos grandes de modo a poderem ser lançados pela chaminé.

12. A seguir é feita lavagem cuidadosa do

tecto da chaminé, com aparelho limpador hidráulico apropriado, a fim de eliminar todos os vestígios de explosivo da pega anterior.

13. Concluída esta operação, o martelo pneumático e os seus acessórios são trazidos para o piso superior e procede-se à abertura da pega de fogo e do pequeno furo para o taco de fixação dos fios para o disparo eléctrico.

14. Terminada a perfuração, são içadas, por meio de corda, as embalagens com os cartuchos de explosivo e os fios auxiliares para armação da pega de fogo; depois, separadamente, são içadas as embalagens com as cargas já escorvadas. Estes materiais são levados por um carregador, à hora provável da conclusão da perfuração.

15. O marteleiro procede, então, ao carregamento e à armação da pega de fogo, após o que solicita ao guincheiro que lhe desça, pelo furo, os condutores de ligação para o disparo.

16. Depois de ligados à pega, estes condutores são desviados de modo a deixar a zona do furo central, tanto quanto possível, livre; faz-se, também, a sua fixação ao taco de madeira que o ajudante, entretanto, colocou no furo a ele destinado.

17. Terminadas estas operações, o guincheiro é avisado de que o trabalho na chaminé está terminado e de que vão ser desapertados os macacos de fixação da gaiola.

18. Uma vez desapertados os macacos, inicia-se a descida da gaiola, cuidadosamente, sempre comandada pelo telefone.

19. Chegada a gaiola ao fundo, o marteleiro e o ajudante saiem dela, retiram-na para onde não possa sofrer os efeitos do fogo e desligam o cabo de suspensão.

20. O guincheiro, logo que é avisado de que esta operação está concluida, enrola o cabo de suspensão com o cuidado necessário para não danificar a armação da pega de fogo.

21. Seguidamente, o marteleiro avisa o guincheiro de que todo o trabalho no fundo da chaminé está concluido e de que se vão retirar. Após este aviso, desliga, no fundo, o cabo telefónico e retira-se, com o ajudante, deixando abertas, para ventilação, as torneiras do ar comprimido.

22. O guincheiro enrola, com precaução, o cabo telefónico. Depois espera a hora estabelecida para o rebentamento do fogo.

23. Então, liga os condutores ao disparador e faz o disparo.

Os tempos máximos normais de realização das operações constituintes dum ciclo de trabalho com a gaiola são os seguintes (considera-se o caso desfavorável da execução duma das últimas pegas numa chaminé com 80 m de altura e tendo o furo central ficado obstruído pelo rebentamento anterior):

Preparar ferramentas e utensílios e verificar se o furo está encravado . . .	10 min
Remover e carregar o escombro com pá mecânica e, se necessário, desencravar o furo	30 »
Descer o cabo de suspensão	30 »
Engatar o cabo de suspensão à gaiola e colocar esta em posição	20 »
Subir a gaiola	30 »
Escombrar	20 »
Lavar a frente e perfurar	120 »
Subir explosivos, carregar e armar a pega de fogo	30 »
Descer a gaiola	30 »
Retirar a gaiola da chaminé	15 »
Subir o cabo de suspensão	30 »
Subir o cabo telefónico	15 »
Total do ciclo	380 min

Por razões de segurança não convém estabelecer incentivos com o fim de reduzir a duração dos ciclos. Porém, aumentando um pouco a velocidade do guincho poder-se-ia, sem aumento de risco, economizar tempo. Tal não se fez, ainda, pelo que já atrás dissemos sobre as desvantagens de realizar mais do que um disparo por turno.

BIBLIOGRAFIA

1 — Decker, T. — *Cage-Raising Successful at Nkana*, «Rhokana Review», Jan. 1958.

2 — Langefors, U. — *New Raising Methods*, «Mine & Quarry Engineering», Aug., Sept., Oct. 1957.

3 — Loffus, W. K. B. and Thorburn, G. — *Raising Vertical Ore Passes in Diamond Mines*, «The Mining Magazine», Aug. 1957.

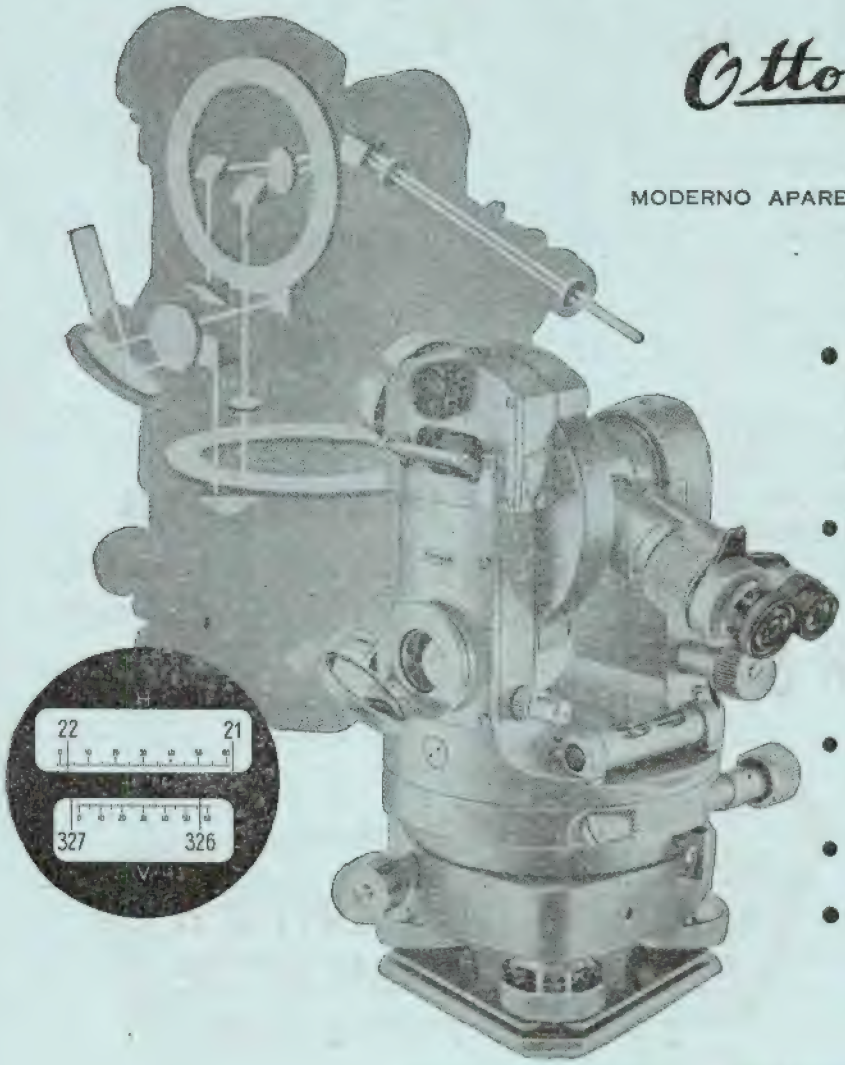
4 — Reid, James L. and Sinclair, J. H. — *Raising at Irwin Shaft, Roan Antelope Copper Mine, Northern Rhodesia*, «Bulletin of The Institution of Mining and Metallurgy (Transactions, Vol. 65, Part 10)», July 1956.

5 — Richards, R. S. H. — *Contributed Remarks* to a paper by J. B. Richardson (Twin Openings in Metal Mine Development), «Transactions of The Institution of Mining and Metallurgy», Vol. 51, 1942.

6 — *New Raising Technique Developed Experimentally*, «Engineering and Mining Journal», June 1953.

7 — *Cage-Raising*, «Mine & Quarry Engineering», April 1958.

TEODOLITO TAQUEOMÉTRICO FTI



Otto-Fennel

MODERNO APARELHO DISPONDO DE:

- Observação simultânea dos dois limbos pelo microscópio colocado ao lado da ocular da objectiva
- Leitura por sistema directo de 1c e décimos por estimativa
- Leitura do nível vertical por coincidência
- Prumo óptico
- Grande luminosidade

Características ópticas e mecânicas

Telescópio analáctico com lente de focagem interna, retículo medidor de distância, telescópio reversível com o extremo da objectiva.

Constante de adição	zero
Constante de multiplicação	100
Comprimento do telescópio	190 mm
Abertura da objectiva	36 mm
Ampliação	28 x
Distância mínima de mira	1 m
Nível redondo	6' a 8'
Nível de reversão	30 "
Nível de horizontalidade paralelo ao eixo de inclinação	40 "

Nível junto ao círculo vertical legível por ajustamento da coincidência 40 ". Passo circunferencial sobre círculos de vidro 360° ou 400 g, de 1° ou de 1 g.

Diâmetro do círculo horizontal 90 mm, do círculo vertical 70 mm

Leitura directa horizontal	1'	1c
Leitura por avaliação	1'	1c
Leitura directa vertical	0,1' = 6"	0,2c = 20cc
Leitura por avaliação	0,2' = 12"	0,25c = 25cc

Pesos: Instrumento 4,7 kg, Tripé com pés extensíveis 6,0 kg, Caixa metálica 4,0 kg

REPRESENTANTES

PAPELARIA FERNANDES — S. A. R. L.

L. DO RATO, 13 — TELEF. 68 21 31/37 — R. DO OURO, 145 — TELEF. 28361/36 85 41

LISBOA

WORTHINGTON-CORPORATION

U. S. A. e FILIAIS EUROPEIAS

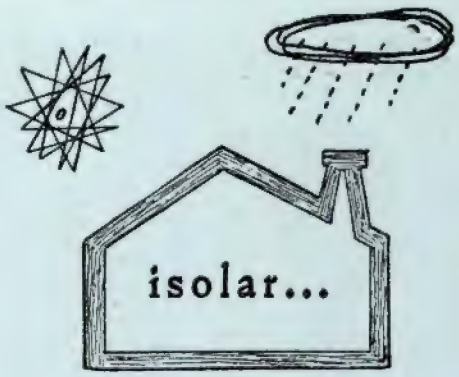
BOMBAS CENTRÍFUGAS:

Horizontais
Verticais para poços profundos
Liga especial para indústrias químicas
Pasta de papel, etc., etc.

BOMBAS ROTATIVAS DE CARRETOS
BOMBAS ALTERNATIVAS A VAPOR
COMPRESSORES DE AR
TURBINAS A VAPOR - CONDENSADORES

REPRESENTANTES e LICENCIADOS

H. VAULTIER & C.ª



...do calor,
frio,
ruido,
...problema resolvido:

VITROFIB

INFORMAÇÕES TÉCNICAS E COMERCIAIS

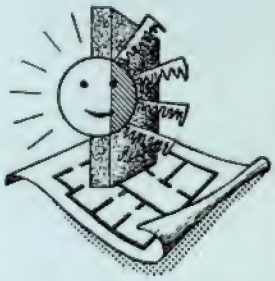
NACIONAL FIBRAS DE VIDRO, L.DA

R. Braamcamp, 15, 2.º-D. Tel: 59150 - 59124
LISBOA

AGLOMERADOS NEGROS DE CORTIÇA PARA ISOLAMENTOS

O isolante ideal do frio e calor, que reune as seguintes características:

BAIXO coeficiente de condutibilidade térmica.
ELEVADA resistência mecânica.
ESTRUTURA estável.
FACILIDADE de aplicação.
COMPORTAMENTO elástico a elevadas pressões.



Fábricas associadas da ISOLA:

MUNDET & C.ª, Lda. — Soc. Corticeira ROBINSON, Bros, Lda. — INFAL, Indústria de Fabricação de Aglomerados Lda. — SOPAC Soc. Portuguesa de Aglomerados de Cortiça, Lda. — SOCORQUEX, Lda. — CORÇA, Fábrica de Aglomerados de Cortiça, Lda.

AGENTES EM TODO O PAÍS

Soc. Comercial de Isolamentos de Cortiça, Lda.

Av. António Augusto de Aguiar, 17 — Telef. 4 7824 — Teleg. ISOLA — LISBOA

C. D. U. 551.491.7:624.131.433

Métodos de determinação das constantes geo-hidrológicas

PELO ENG.º CIVIL (I. S. T.) CARLOS A. QUINTELA G. GÓIS

Da Direcção dos Serviços Hidráulicos
do Ministério do Ultramar
Diplomado pelo I. C. H. E. (International Course
in Hydraulic Engineering) — Delft Holanda.

1 — Introdução

Entendemos por constantes geo-hidrológicas os valores de permeabilidade k duma camada aquífera e resistência c duma camada semi-impermeável. Por vezes faremos alusão à transmissibilidade kD, que não é mais que o produto da permeabilidade pela espessura D da camada aquífera. Este valor é usualmente preferível, sob o ponto de vista prático, ao de k em grande parte dos problemas.

O incremento dado nos últimos anos ao estudo das águas subterrâneas e a importância da avaliação, tão correcta quanto possível, dos valores de tais constantes, são um imperativo para que vários métodos fossem tentados para a sua obtenção. A necessidade da conservação dos reservatórios subterrâneos naturais capazes de fornecer água em boas condições para abastecimento de grandes cidades em zonas fortemente industrializadas, bem como o estudo das disponibilidades para irrigação em zonas áridas e o problema das infiltrações em terrenos baixos defendidos por diques das águas circunvizinhas — vulgarmente designados por polders —, contam-se entre as inúmeras questões, para as quais é fundamental ter uma ideia, tão correcta quanto possível, do valor das constantes geo-hidrológicas.

Definição — Permeabilidade dum dado meio pode ser definida como o volume dum fluido de viscosidade unitária passando através da unidade de secção desse meio na unidade de tempo, sob a acção dum gradiente de pressão unitário. Tal definição provém da lei de Darcy escrita sob a forma

$$V = \frac{k^*}{\mu} \frac{dP}{dx} \qquad (1)$$

em que V é a velocidade macroscópica, k* a permeabilidade, μ a viscosidade dinâmica do líquido, P a pressão e x a distância. Dentro deste critério, k* terá as dimensões duma área e é independente do líquido. No entanto, nos problemas usuais na hidráulica aplicada, trabalha-se com outro valor chamado «permeabilidade efectiva» ou simplesmente «permeabilidade» definida pela expressão

$$k = \frac{k^*}{\mu} \qquad (2)$$

Tal permeabilidade, embora dependa da viscosidade dinâmica do líquido, pode considerar-se constante para uma dada formação, pois o valor de μ para a água nas condições normais de circulação subterrânea, não variará consideràvelmente. Dentro deste critério, e usando para pressão unidades de altura de líquido, como pràticamente se faz, k virá em unidades de velocidade.

A noção de resistência duma camada semi-permeável aparece por razões práticas e está, de certo modo, relacionada com a permeabilidade k. Se considerarmos uma certa camada de espessura d, designamos por resistência o tempo que a unidade de caudal de líquido através da unidade de área levaria para atravessar tal camada, sujeito a um gradiente de pressão igual à unidade de altura de líquido entre ambas as suas faces. Tal definição baseia-se no fórmula

$$c = \frac{\Delta P}{V} \qquad (3)$$

em que ΔP é a variação de pressão e V a velocidade macroscópica. Combinando (3) com (1) e (2) poderemos concluir que

$$c = \frac{d}{k} \qquad (4)$$

Unidades — As unidades de permeabilidade devêm das expressões definidoras. Apresentamos na Tabela I os valores de conversão.

TABELA I — Conversão de unidades de permeabilidade

	Darcy 1 c c. / Sec. cm² (a tm / cm)	1 ft³ / Sec. ft² (lb / in²) / ft	cm/sec. 1 c c. OH_2 (20°c) / Sec. cm² (1 cm OH_2/cm)	m / dia 1 m³ OH_2 (20°c) / dia. m² (1 m OH_2 / m)	1 gal OH_2 (20°c) / Min. ft² (1 ft OH_2 / ft)
Darcy 1 c c. / Sec. cm² (a tm/cm) =	1	$7{,}3243.10^{-5}$	$9{,}6130.10^{-4}$	0,8306	$1{,}4156.10^{-2}$
1 ft³ / Sec. ft² (lb / in²)/ft =	$1{,}3653.10^{4}$	1	13,124	$1{,}1339.10^{4}$	$1{,}9327.10^{2}$
cm / Sec. 1 c c. OH_2 (20°c) / Sec. cm² (1 cm OH_2/cm) =	$1{,}0403.10^{3}$	$7{,}6195.10^{-2}$	1	$0{,}8640.10^{3}$	14,725
m / dia 1 m³ OH_2 (20°c) / dia. m² (1 m OH_2/m) =	1,2040	$8{,}8188.10^{-5}$	$1{,}1574.10^{-3}$	1	$1{,}7043.10^{-2}$
1 gal OH_2 (20°c) / Min. ft² (1 ft OH_2 / ft) =	70,644	$5{,}1742.10^{-3}$	$6{,}7910.10^{-2}$	$0{,}5867.10^{2}$	1

— As primeiras duas unidades referem-se a um fluído com viscosidade de 1 centipoise, a viscosidade da água a 20° C toma-se 1,005 centipoise.

— A unidade mais usualmente empregue na prática é o metro / dia.

Quanto às unidades de resistência, e dado o seu carácter prático, limitamo-nos a indicar as mais usadas, que são o dia ou o ano conforme a magnitude do seu valor.

Valores usualmente encontrados na natureza — Embora sob reserva, indicamos a seguir alguns valores de permeabilidades que, nas condições normais, poderemos adoptar quando da falta total de elementos de investigação.

— *Areões* — Quando limpos tem geralmente altas permeabilidades 100—1000 m/dia, e o escoamento pode ser turbulento. Normalmente os grãos intersticiais diminuem a permeabilidade.

— *Misturas de areia e areão* — Neste caso a permeabilidade será determinada pela da areia, desde que o conteúdo de areão seja menor que 40 — 45 % do total. Se for maior que 45 %, o seu efeito torna-se apreciável. No caso de 60 %, a permeabilidade será dupla e no caso de 70 % mesmo quatro vezes a da areia. Se a mistura contém mais que 70 % de areão, a permeabilidade da formação dependerá também do tamanho dos grãos.

— *Areia limpa* — A gama de valores entre os quais pode variar a permeabilidade duma areia é tal, que nos não atrevemos a aventar um número. No entanto, e como ideia grosseira, poderemos considerar de 5 m/d para areia fina a 40 m d para areias grossas. O limite destas designações é, no entanto, muito vago, como se pode imaginar. Uma permeabilidade de 10 m/d é normal para areias de origem dunar.

— *Conglomerados* — Como é natural, a permeabilidade destas rochas será da ordem de grandeza das areias finas. É usual obterem-se valores da ordem dos 5 a 15 m/d.

— *Loess* — Apesar de poroso, este tipo de formação é uma camada aquífera pobre com valores de k da ordem dos 0,1 m/d.

— *Arenitos* — Tais rochas podem ser importantes camadas aquíferas, em que a permeabilidade pode variar dos 5 aos 20 m/dia, dependendo fundamentalmente do grau de cimentação. No caso de apresentar juntas e fissuras, tal valor será ainda superior, podendo atingir os 50 m/d.

— *Calcáreos* — Em formações deste tipo, visto que a solubilidade do material causa a modificação das características hidrológicas, faremos uma distinção entre dois tipos de permeabilidade.

a) Permeabilidade primária — inerente ao próprio material e devida à porosidade primária com valores que podem roçar os 25 m/d.

b) Permeabilidade secundária — proveniente da existência de canais de solubilidade, fracturas, cavidades etc. e que poderão conduzir a valores elevadíssimos e dispares. Como é natural, a definição da permeabilidade deixa mesmo de ter significado em presença da falta de validade da lei de Darcy.

Uma dada formação calcárea poderá ter permeabilidade primária, secundária ou ambas, sendo a sua idade um factor importante. Formações recentes poderão apresentar-se com inúmeras aberturas, enquanto que as mais antigas não.

— *Formações vulcânicas* — Embora não possamos dar valores de permeabilidade de tais formações, não poderemos deixar de assinalá-las como de grande importância sob o ponto de vista de camada aquífera, o que tem dado origem a falhas de certos esquemas de irrigação em terrenos sobre elas situadas. O valor de k de tais formações pode considerar-se dependente de:

1) Composição química — lavas basálticas ricas em minerais ferromagnesianos e pobres em sílica são bastante permeáveis. Pelo contrário riolites apresentam baixos valores de k.

2) Modo de deposição.

3) Forma inicial dos terrenos sobre que assentaram.

No que respeita a valores da resistência *c*, é inútil dar qualquer indicação em face da sua dependência de espessura da camada. Sòmente como indicação, poderemos assinalar o caso duma camada de 7 m de argila cujo valor de *c* atingia 20 anos.

Embora aureoladas de uma grande simplicidade de definição, o problema de determinar as constantes geo-hidrológicas duma dada formação reveste-se dum sem número de complicações inerentes a tudo o que pretende representar por um número uma dada característica da natureza, tão caprichosa nas suas propriedades. Passaremos em revista nos capítulos seguintes os varia-

dos métodos de que podemos lançar mão. Não focaremos todos eles com a mesma profundidade, tentando dar uma ideia mais esclarecida sòmente sobre aqueles cujo interesse prático é mais notório.

2 — Métodos laboratoriais de determinação de permeabilidades

2.1. — Métodos indirectos

Entendemos por métodos indirectos os que, baseando-se nas propriedades dos materiais que constituem a formação, pretendem relacioná-las por uma fórmula, a fim de conduzir ao valor da permeabilidade.

Têm sido muitas as tentativas para atingir tal fim, não sendo, no entanto, animadores os resultados. Citaremos por exemplo os trabalhos de Hazen, Slichter e Terzaghi, que conduziram a fórmulas em que k é uma função do quadrado dum diâmetro representativo da composição granulométrica do material (considerando o d_{10}). No entanto, enquanto os dois últimos introduzem factores para levar em linha de conta a compacidade e porosidade do material, Hazen não faz qualquer referência a tal facto. Os trabalhos de Hulbert e Feben conduziram a outra fórmula que, embora idêntica, considera o diâmetro d_{50} e não d_{10} como anteriormente. Finalmente, citaremos a fórmula de Fair e Hatch em que, além dum factor designativo da porosidade, se entra com a percentagem de areia retida entre peneiros adjacentes e com a média geométrica do diâmetro de tais peneiros.

Não apresentamos as fórmulas por acharmos que não tem valor prático. Elas poderão ser encontradas nas publicações dos respectivos autores. Estes são no entanto unânimes em reconhecer a falta de confiança dos valores a que somos levados pela aplicação das fórmulas. É na realidade impossível encontrar um coeficiente que defina concretamente a compacidade do material. Haja em vista que, para um material ideal formado por esferas de igual diâmetro, a porosidade pode variar entre 26 e 48 %, dependendo do arranjo.

Estes métodos apresentam ainda outros inconvenientes comuns a todos os laboratoriais que indicaremos no capítulo 2.3.

2.2 — Métodos directos

Designamos por métodos directos aqueles que, por meio de variados aparelhos e com amostras do solo constituinte da camada aquífera, determinam a permeabilidade aplicando a lei de Darcy directamentte. São variadíssimos os aparelhos desenvolvidos pelos diferentes investigadores, e a sua descrição sairia fora do âmbito a que nos propuzemos ao iniciar este trabalho. No entanto, como todos eles se baseiam no mesmo princípio e esquemàticamente funcionam do mesmo modo, indicaremos sòmente a técnica geral para cada caso.

2.2.1 — *Solos não coesivos* (areias, areões, etc) — Para tal, e de posse de uma amostra obtida por qualquer dos métodos usualmente empregues para tal fim, utilizamos um dispositivo como o indicado na fig. 1. Tal dispositivo é formado por um cilindro com duas tomadas a alturas diferentes afastadas de ΔS. Na base existe uma pedra porosa. O cilindro é alimentado superiormente por meio dum reservatório de nível constante, e

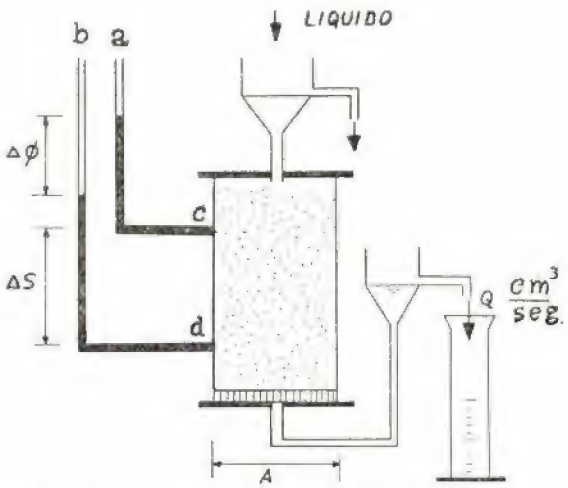


Fig. 1 — Esquema do aparelho utilizado para a determinação de k em solos não coesivos

o líquido, percolando através da amostra, sai por um outro tubo situado na parte inferior em comunicação com outro reservatório idêntico. Lançando o líquido no reservatório superior, aguarda-se que as condições se estabilizem e se instale o movimento permanente.

Nesse momento, verifica-se uma diferença de nível na água dos tubos a e b que designaremos por Δφ, passando pela saída inferior um caudal

Q que pode ser medido. Como é obvio, $\Delta\phi$ representa a diferença de potencial entre os pontos c e d e, se for A secção de amostra, a lei de Darcy, dará

$$\frac{Q}{A} = V_Z = -k\,\frac{\Delta\phi}{\Delta S} \qquad (5)$$

em que V_Z é a velocidade vertical e k a permeabilidade. O sinal (—) é devido a $\frac{\Delta\phi}{\Delta S}$ variar em sentido contrário em relação ao escoamento.

O valor de k será então dado por (6)

$$\boxed{k = -\frac{\frac{Q}{A}}{\frac{\Delta\phi}{\Delta S}}} \qquad (6)$$

Como vemos o método é extremamente simples e rápido. Pode usar-se qualquer líquido tendo, no entanto, em atenção a influência da viscosidade, como consequência das definições apresentadas em 1. Vários cuidados há ainda que observar, como o perigo de segregação durante a deposição da amostra, a necessidade de completa saturação e ainda as dimensões dos grãos que devem ser pequenos em relação às do aparelho.

2.2.2 — *Solos coesivos (argila, turfa, margas, etc.*

— Os solos coesivos são mais ingratos para uma boa determinação do valor de k. Como tal valor varia frequentemente e por vezes dentro de largos limites com a direcção é costume determinar-se duas permeabilidades, a vertical k_v e a horizontal k_h.

— *Permeabilidade vertical k_v* — O dispositivo é representado em corte esquemático na fig. 2, e parece-nos suficientemente claro para evitar largas explicações. Uma amostra com $\phi = 6{,}8$ cm e altura sensivelmente 2 cm é envolvida lateralmente por uma coroa cilíndrica de matéria grudosa e colocada dentro duma outra coroa metálica. Nas bases existem pedras porosas e o conjunto fica fixado por meio dum peso vertical.

Um tubo vertical contém água e, devido à diferença de potencial, um certo caudal Q passará através da amostra, enquanto a água desce no tubo. Desta descida poderemos deduzir que

$$\frac{Q}{\pi r_1^2} = -\frac{dh}{dt} \qquad (7)$$

Da lei de Darcy virá que

$$\frac{Q}{\pi R^2} = k_v\,\frac{h}{H} \qquad (8)$$

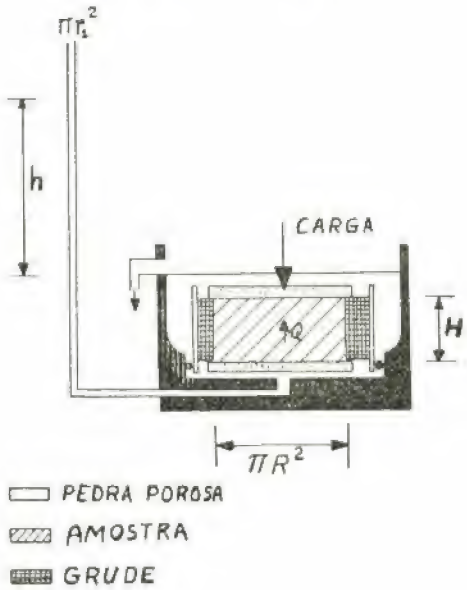


Fig. 2 — Esquema do aparelho utilizado para a determinação de k_v em solos coesivos

Eliminando Q de (7) e (8) e integrando, obtemos a relação (9) em que todos os elementos são conhecidos à excepção de kv.

$$\boxed{\ln\frac{h_1}{h_2} = -k_v\left(\frac{\pi R^2}{H}\right)\frac{1}{\pi r_1^2}\,(t_1 - t_2)} \qquad (9)$$

Como é natural h_1 e h_2 correspondem às alturas observadas no tubo nos instantes t_1 e t_2.

Permeabilidade horizontal k_h. — O processo é fundamentalmente o mesmo, mas agora em vez de um escoamento vertical a água é obrigada a fluir radiamente, consequência duma diferente arrumação dos elementos permeáveis e impermeáveis do aparelho. Este, esquematizado na fig. 3, é cilíndrico como o anterior e a amostra é perfurada sendo limitada lateralmente por coroas cilíndricas porosas e superior e inferiormente por bases impermeáveis fixas com uma carga.

É estabelecida uma diferença de potencial entre as superfícies laterais da amostra por intermédio dum tubo de carga, ao longo do qual a água desce. Tendo em linha de conta as dimen-

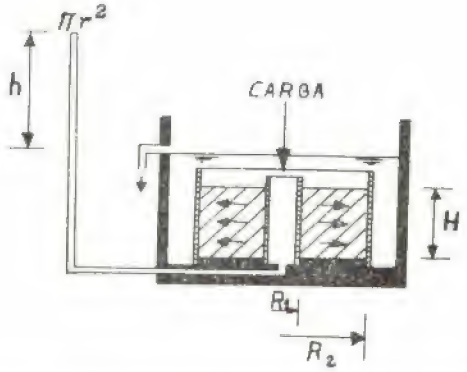


Fig. 3 — Esquema do aparelho utilizado para a determinação de k_h em solos coesivos

sões indicadas na figura, e aplicando a lei de Darcy ao escoamento, obtemos, em face das condições aos limites

$$Q = k_h \frac{2\pi H}{\ln (R_2/R_1)} h \qquad (10)$$

Esta equação em conjunto com a (7) já apresentada e que se mantém, conduz, após uma eliminação semelhante à efectuada no capítulo anterior a

$$\boxed{\ln \frac{h_1}{h_2} = -k_h \frac{2\pi H}{\ln R_2/R_1} \frac{1}{\pi r_1^2} (t_1 - t_2)} \qquad (11)$$

Em (11) todos os elementos são conhecidos à excepção de k_h. Como anteriormente, os índices 1 e 2 correspondem a dois instantes de observação.

Notas — Observando a forma das equações (9) e (11), verificamos que, se colocarmos os valores de t e h medidos para vários instantes num diagrama (t, h), devemos obter uma recta cujo coeficiente angular é uma medida do valor da permeabilidade. É normalmente este o caminho que se segue.

Por outro lado, merece ainda uma menção especial a carga que colocamos verticalmente. É evidente que, para tais tipos de solos, o valor da compacidade e portanto da permeabilidade variarão por vezes largamente com ela. Do mesmo modo, para que os resultados a que somos conduzidos sejam mais dignos de confiança, há necessidade de reproduzir tão perfeitamente quanto possível as condições existentes na natureza e que foram alteradas quando da colheita das amostras. Portanto, estas devem ser carregadas com uma carga que produza o mesmo efeito que as camadas de solos que sobre ela existiam na natureza. O tempo de compactação é determinado através da evolução dos assentamentos, até que a respectiva curva indique um estado de equilíbrio.

2.3 — **Critica** — É nosso dever reconhecer o valor científico e o esforço de diversos investigadores que, quer estudando novas fórmulas quer desenvolvendo novos dispositivos de medida, se tem dedicado ao problema da determinação da permeabilidade. Mas, para nós engenheiros hidráulicos, procurando valores práticos, pràticamente determinados e representando tanto quanto possível as condições naturais, os valores a que somos conduzidos por tais métodos não nos satisfazem. Eles constituiram sòmente um último recurso, uma tábua de salvação, quando nenhum dos outros métodos que a seguir apresentamos, principalmente os testes de bombagem, puderem ser aplicados.

Na realidade, um sem número de dificuldades tem que ser ultrapassadas. Poderemos citar por exemplo o impedimento da evaporação, a eliminação do ar e dos minerais constituintes da água, evitar o crescimento de organismos no solo, etc. Mais grave ainda é a manutenção das condições existentes na natureza. Por muito aperfeiçoada que seja a técnica de extracção da amostra, não se consegue fazê-lo sem a disturbar, alterando o seu grau de compacidade.

Mas, mesmo que todos aqueles obstáculos se ultrapassassem, restava o facto de se saber até que ponto é que a amostra era representativa da camada aquífera. A natureza é caprichosa na sua heterogeneidade, e verifica-se que, se tirarmos amostras de dois pontos diferentes da mesma formação, somos, dum modo geral, conduzidos a valores diferentes.

Haverá, pois, sempre que não haja outro processo, que recolher um grande número de amostras e encontrar um critério, uma solução de compromisso, para se poder dizer que a permeabilidade da formação é um certo valor de k.

3 — Métodos no campo para a determinação da permeabilidade e resistência

3.1 — Introdução

Expostos que foram anteriormente, nas suas linhas gerais, os métodos laboratoriais para a

determinação de permeabilidades, passemos aos métodos no campo. Não poderemos dizer que consideramos estes infalíveis, como se pode depreender de análise 2.3 mas, pelo contrário, mais dignos de confiança, embora com limites, que tentaremos definir para, em cada caso, podermos ajuizar do método mais adequado.

Deve ter sido notado que, no capítulo 2, eramos sòmente conduzidos ao valor da permeabilidade k, o que aliás era lógico pela índole dos métodos. No presente capítulo, e pela mesma razão, trataremos mais com a transmissibilidade k D, da qual a primeira pode ser deduzida conhecendo as características geológicas da formação. Abordaremos agora igualmente, e pela primeira vez, maneiras de determinar a resistência c.

3.2 — Determinação de k pelo método da velocidade da água subterrânea

3.2.1 — *Fundamento* — É novamente uma aplicação directa da lei de Darcy. Vimos que

$$V = \frac{k^*}{\mu} \frac{dP}{dx} \qquad (1)$$

e que, em virtude de (2), e designando $\frac{dP}{dx}$, o gradiente de potencial, por i virá

$$V = k\,i \qquad (12)$$

em que V é a velocidade macroscópica. Se considerarmos agora a velocidade real da água V*, teremos que

$$V = V^* \eta \qquad (13)$$

em que η é a porosidade do material. Combinando (13) com (12) poderemos tirar

$$\boxed{k = \frac{V^* \eta}{i}} \qquad (14)$$

É através desta fórmula que se pode determinar k. A porosidade pode ser medida por meio de amostras da formação, e *i* pela colocação de tubos piezométricos ou outros tipos de observação e V* da maneira que descreveremos a seguir e que variará com o método.

3.2.2. — *Método dos corantes* — O uso de corantes para a determinação da origem de certas águas subterrâneas, é já muito antigo, remotando-se a 1882 para investigações relacionadas com poluição. Para o fim a que este parágrafo se destina, medição da velocidade, o método é bastante simples, bastando lançar um corante num poço situado a montante e observar o tempo de chegada a um outro colocado paralelamente à corrente e a jusante, por observação periódica de amostras de água.

O método, aparentemente simples, apresenta as suas dificuldades, pois o próprio gradiente varia quando se recolhe uma amostra para se medir a concentração de corante, aumentando consequentemente a velocidade. Este erro é atenuado se os poços estão situados mais longe um do outro. A detecção dos corantes tem sido aperfeiçoada pelo desenvolvimento de aparelhos especiais para tal fim.

O método dos corantes degenerou num outro que conduz a melhores resultados, o electrolítico que adiante descreveremos.

3.2.3. — *Métodos salinos* — Consideraremos dois casos, o químico e o electrolítico de que já falámos.

Método químico — Não difere em nada do método dos corantes, sòmente agora se utiliza um sal cuja concentração se mede por amostragens periódicas no poço colocado a jusante. Tal como anteriormente, o método peca pelos mesmos inconvenientes.

Método electrolítico — Este método, desenvolvido por Slichter, mede a chegada do sal diluído por meio eléctrico. Na verdade, a condutividade da água aumenta com a presença dum sal no seu seio. O movimento do sal entre os poços de montante e jusante é pois observado por um circuito eléctrico entre as suas bainhas, que utiliza a condutividade da água subterrânea.

A quantidade de corrente que fluirá neste circuito depende da condutividade da água no poço e é observada medindo a corrente que passa entre dois eléctrodos, um no poço e outro na bainha. O movimento do sal e deste modo o da água subterrânea, é calculado através do tempo contado entre a introdução do sal no poço a montante e a sua detecção no da jusante. Slichter concluiu, após variadas experiências, que o cloreto de amónio conduzia a resultados bastante satisfatórios ao aplicar este método.

3.2.4. — *Crítica* — É evidente, e de resto o leitor atento deve tê-lo observado, que o «método das velocidades» em qualquer das suas variantes apresenta inconvenientes, alguns deles comuns aos laboratoriais.

Na verdade, existe um factor, a porosidade, que pode sòmente ser determinado através de amostras do terreno e caimos assim na falha da representação global da formação por uma amostra dum dos seus pontos ou por uma média de vários.

Por outro lado, em lugares onde a velocidade da água é muito pequena, o método não se deve aplicar. Basta notar que as soluções são mais densas que a água e tenderão a afundar podendo mesmo dar-se o caso de não poderem ser detectados no poço de jusante. Para atenuar tal inconveniente os poços devem ser colocados perto uns dos outros, cerca de 1,00 m. Por outro lado, nestas condições, a experiência é mais sujeita a erros que podem advir quer da falta de verticalidade dos poços quer do aumento de gradiente provocado pelo lançamento do sal.

Concluindo, podemos afirmar que a velocidade medida por tais métodos é normalmente bastante elevada e conduz a valores altos da permeabilidade. Por outro lado, e visto que é uma experiência localizada, deve efectuar-se em vários pontos da zona a investigar para que se possa ter uma ideia do conjunto.

3.3 — Determinação de k pelo método de Diserens

Introdução — Este método usado frequentemente em agronomia dá valores bastante dignos de confiança e é notável pela sua simplicidade. Desenvolvido pelo autor em 1934 está hoje aperfeiçoado devido a Ernst (1950).

Princípio do método — Observemos a Fig. 4. Ela representa o corte no terreno efectuado por um poço vertical de diâmetro 2 r. Tal poço penetra a camada freática numa profundidade H.

Por meio dum dispositivo qualquer tiremos repentinamente uma quantidade de água correspondente à altura γ_0. A partir desse momento, observemos a velocidade de subida do nível no poço $\frac{d\gamma}{dt}$, devida à chamada de água proveniente do gradiente estabelecido. O valor de k será então dado, segundo Ernst, por (15)

$$k = \frac{4000\ r^2}{(H + 20\ r)\ (2 - \gamma/H)\ \gamma}\ \frac{d\gamma}{dt} \qquad (15)$$

Nesta fórmula, γ é o valor da profundidade da água no poço abaixo do nível freático no instante t. No caso do fundo do poço atingir uma

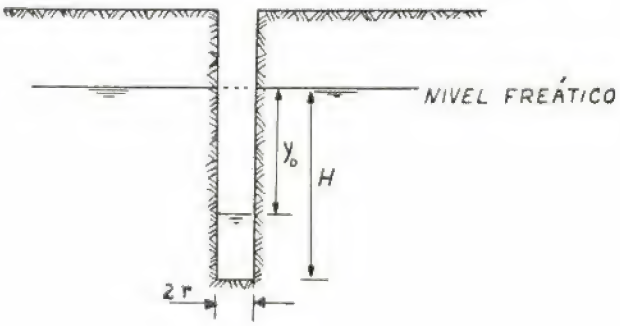


Fig. 4

camada impermeável que se possa considerar como base das superfícies de escoamento, a fórmula será (16)

$$k = \frac{3600\ r^2}{(H + 10\ r)\ (2 - \gamma/H)\ \gamma}\ \frac{d\gamma}{dt} \qquad (16)$$

Nestas fórmulas, as unidades são as seguintes

k em m/d
H, r, γ em cm
$\frac{d\gamma}{dt}$ em cm/sec.

Normas práticas — Façamos uma análise mais detalhada ao modo de proceder para aplicar este método.

Depois de escolher o local onde se fará o furo, plano e limpo de vegetação, iniciemos a operação com a broca que vemos ao centro na foto 1. Logo que seja difícil prosseguir, utilizaremos outro dispositivo constituído por um tubo (instrumento da direita da mesma foto) com uma válvula na parte inferior idêntica aos vulgarmente utilizados para tal fim. Com ela é possível fazer um orifício de cerca de 1,30 m a 1,40 m de profundidade. Este é em seguida protegido por meio de um tubo de paredes bastante poro-

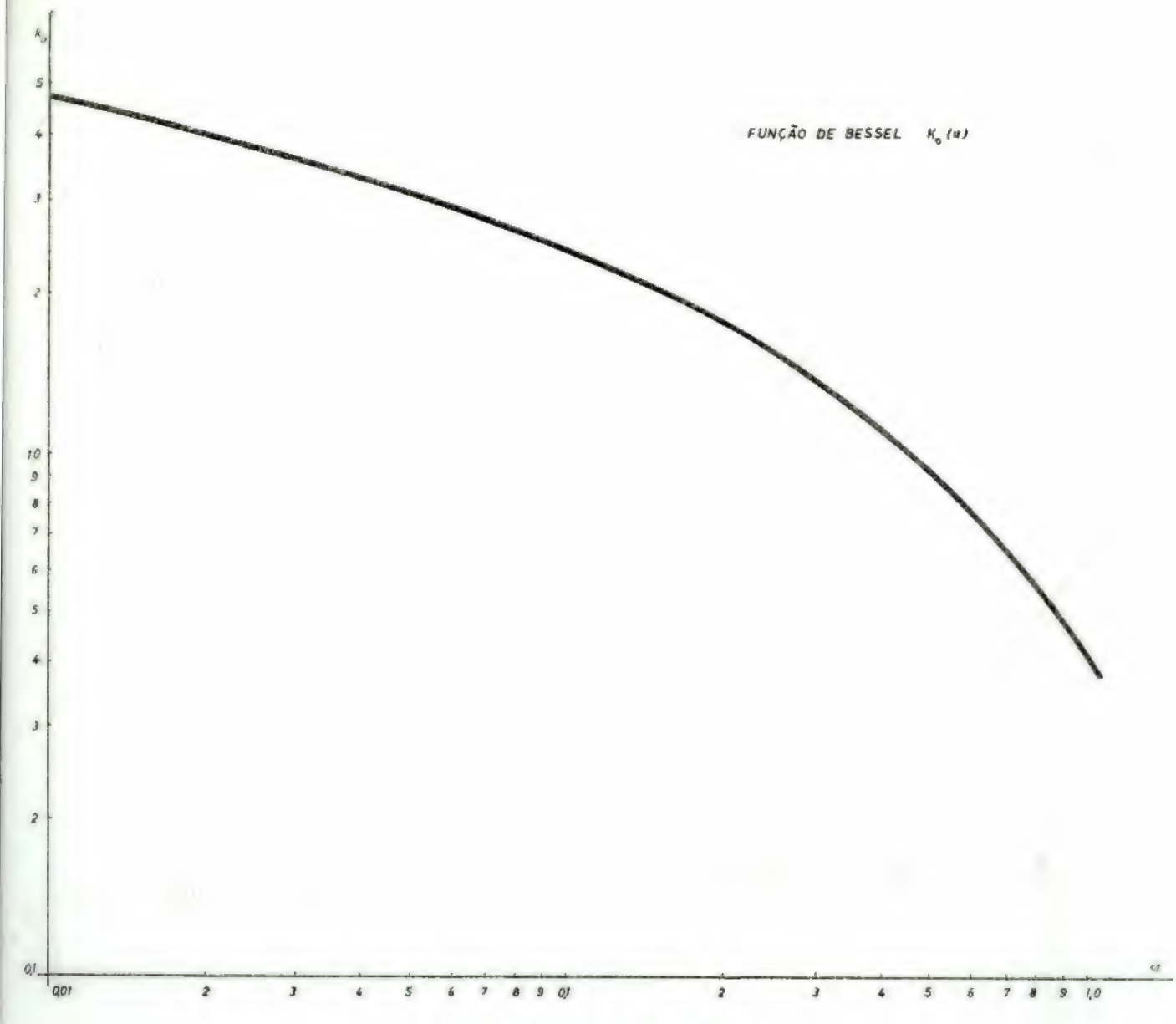


Fig. 16 — Função de Bessel K_0 (x)

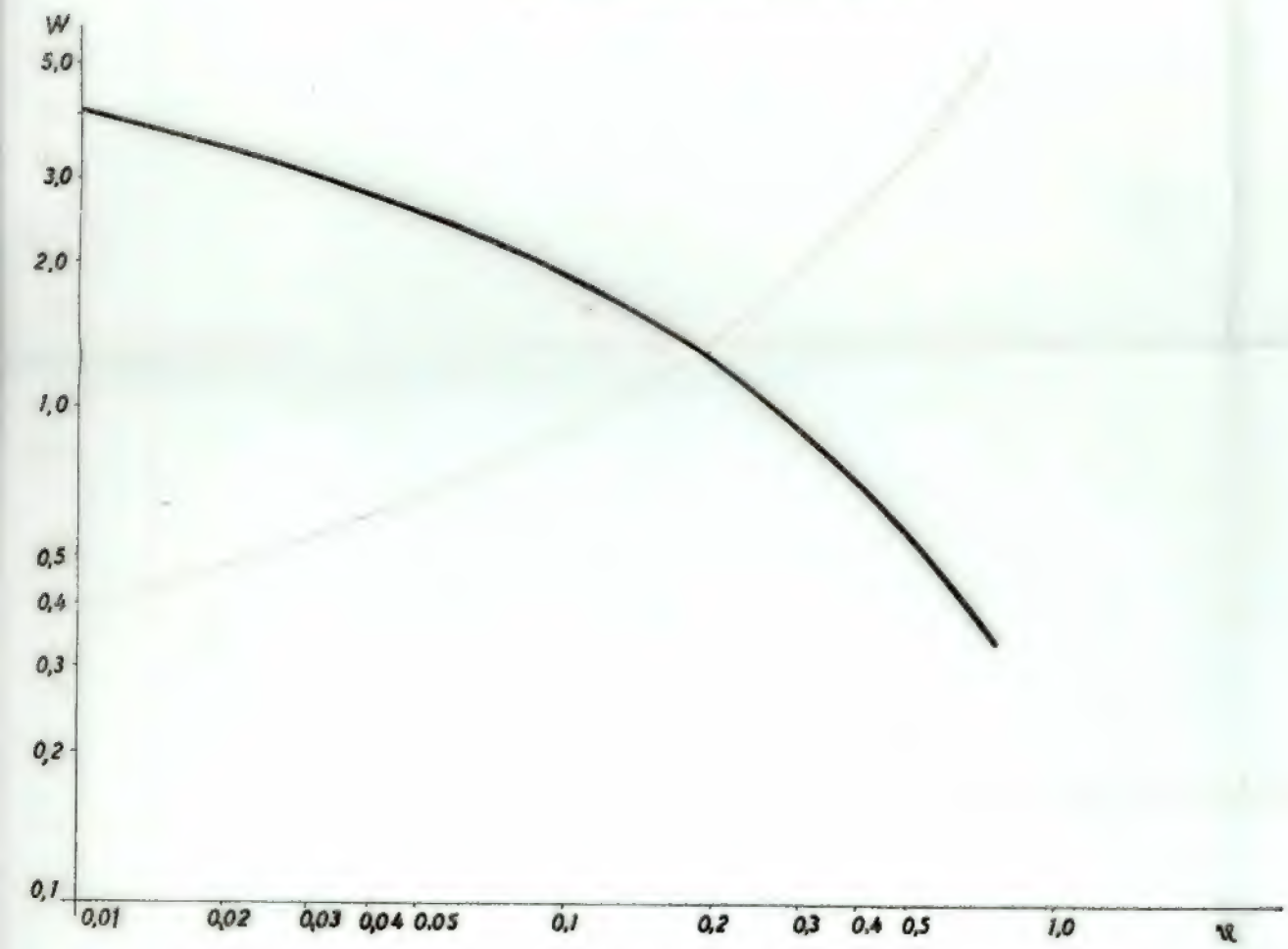
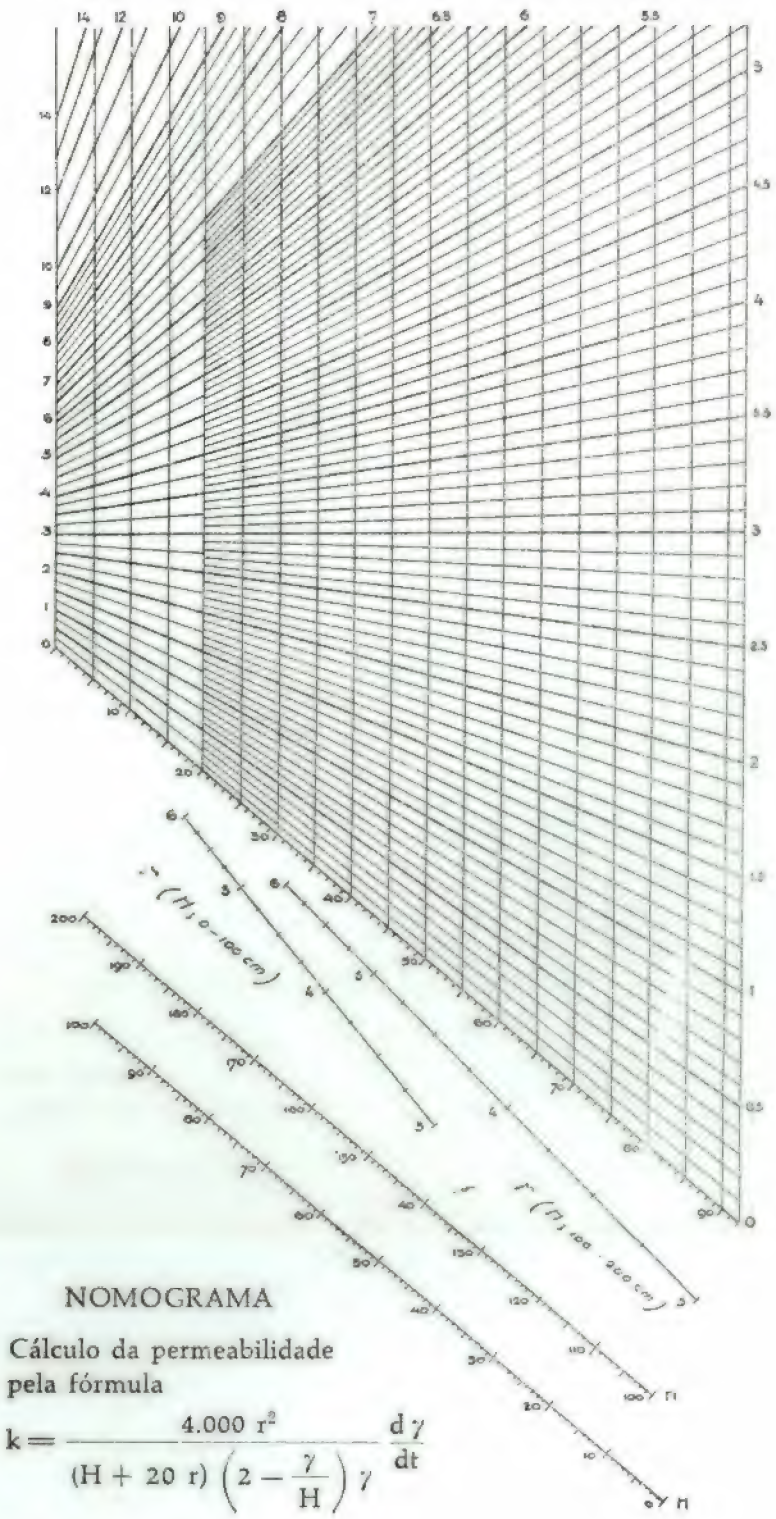


Fig. 21 — Função W (x)



NOMOGRAMA

Cálculo da permeabilidade pela fórmula

$$k = \frac{4.000\ r^2}{(H + 20\ r)\left(2 - \frac{\gamma}{H}\right)\gamma}\ \frac{d\gamma}{dt}$$

sas que manterá o terreno firme e não impedirá a entrada de água (vidé à esquerda da foto 1). Na mesma foto e no canto inferior direito pode observar-se o poço tal qual fica depois de cravado tal tubo.

Foto 1

Aguardamos então o tempo suficiente para que se estabeleça no interior o mesmo nível de água que anteriormente, o que dependerá da maior ou menor permeabilidade do terreno.

Foto 2

Iniciamos o ensaio, medindo o valor de H que se obtém por diferença entre a profundidade total do poço e a da água. Em seguida e com o auxílio duma bomba como a indicada na foto 2, tiramos uma certa quantidade de água. Tal bomba não é mais que um tubo com uma válvula na parte inferior que se fecha quando se puxa para cima.

Há então que se medir a velocidade de subida da água no furo. Para tal, pode utilizar-se o dispositivo indicado na foto 3 que não é mais que uma haste metálica que se crava no terreno e e que tem uma calha onde corre uma fita metálica graduada, no extremo da qual está soldada uma bóia. Esta flutuará na água, arrastando a fita. Por este arrastamento e a intervalos de tempo determinados efectuar-se-ão as medições de γ.

Foto 3

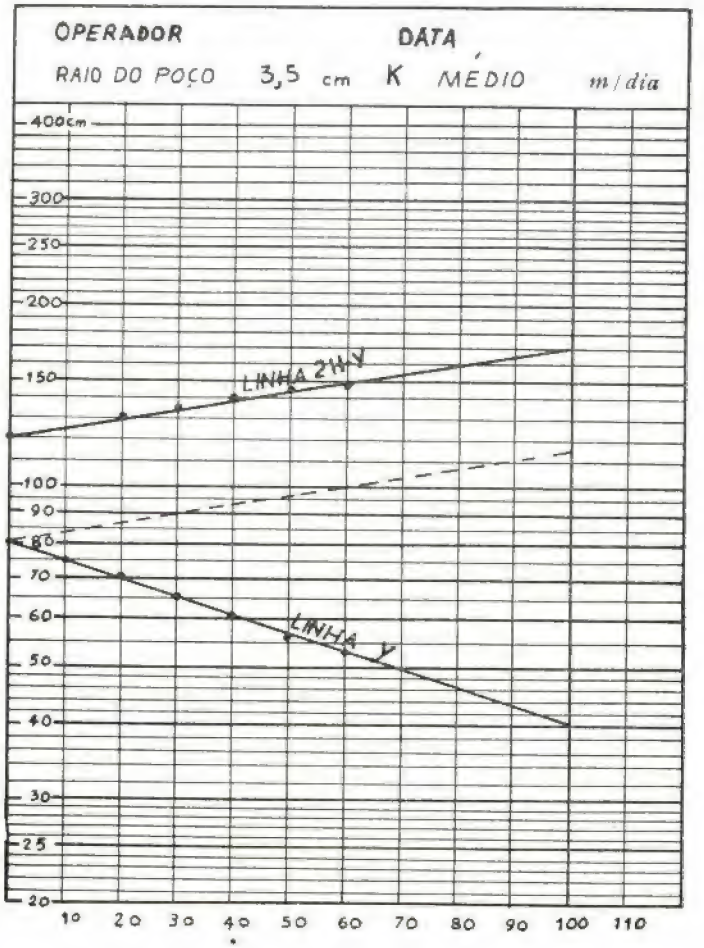
Os dados obtidos são registados num quadro como o quadro I, onde um exemplo está registado.

Tal quadro está preparado para 3 ensaios, dos quais se tirará em seguida a média. Como se pode depreender, os valores de $2H - \gamma$ são calculados. Quanto ao intervalo do tempo escolhido, ele dependerá, claro, da permeabilidade do solo e da consequente rapidez com que a água sobe no furo, sendo ditado pela prática, de modo a que a leitura se faça em boas condições.

Preenchidas as colunas γ e $2H - \gamma$, colocamos os seus valores no diagrama da direita, o que

QUADRO I

Nº do Ensaio	1							
Cota da boca do Furo	10,75 m							
Profundid. da cam. freáti.	30							
Profundidade do Poço	130							
H	100							
K m/dia	1,5							
Valores obtidos	t	y_t cm	t	y_t cm	t	y_t cm	t	y_t cm
	0	80,0						
	10	75,0						
	20	70,1						
	30	65,2						
	40	60,5						
	50	56,4						
	60	52,9						
	t	2H-y	t	2H-y	t	2H-y	t	2H-y
	0	120						
	10	125						
	20	130						
	30	135						
	40	139						
	50	144						
	60	147						



nos conduz às duas linhas a cheio. Então, e pela origem da linha dos γ, tiramos uma paralela à $2\,H - \gamma$ obtendo a linha a traço interrompido. É altura de usar o nomograma junto. Nele vemos inferiormente duas linhas com a indicação de H e outras tantas com *r*, que se correspondem. Se alinharmos os pontos $H = 100$ cm $r = 3{,}5$ cm, obtemos o valor 69 na parte inferior do reticulado. Fazendo coincidir este ponto com o do cruzamento da linha γ e a vertical em 100, por sobreposição, pois o nomograma é transparente, e colocando este vertical, estamos aptos a ler imediatamente o valor de k. Na realidade, não temos mais que observar qual o valor da linha inclinada que passa pelo cruzamento da vertical em 100 do quadro I com a linha ponteada. Neste caso é 1,5 m/d.

Notas práticas e crítica. — Como tivemos ocasião de verificar é um método extremamente simples para o qual temos no entanto que observar as seguintes regras:

— o raio do furo deve estar compreendido entre 3 e 7 cm.

— a água bombada deve ser em tal quantidade que o valor de γ_0 seja superior a 20 % de H.

— por outro lado o ensaio deve terminar-se logo que $\gamma < \frac{1}{4}\gamma_0$.

Àparte estas considerações o método tem desvantagens e limitações. É por exemplo o caso que sòmente pode ser aplicado quando a camada freática está perto do solo; de outro modo, o furo teria que ser muito profundo. Como os métodos anteriores, peca pelo carácter local, e não deve ser aplicado em zonas com fissuras, pois os resultados viriam falseados. É conveniente sempre fazer os 3 ensaios, para os quais o quadro está preparado. Permite no entanto dar uma ideia rápida e suficientemente precisa do valor de k da camada superficial, o que, para efeitos de drenagem e rega, tem uma importância capital.

3.4. — Determinação de k usando a sonda cónica holandesa

No intuito de apresentar os métodos nossos conhecidos de que podemos lançar mão, descrevemos mais este, embora de difícil aplicação, pela necessidade de pessoal mais especializado e de técnica mais apurada. O método necessita de aparelhagem cara e encerra os mesmos defeitos de carácter localizado já apresentado para os métodos anteriores.

Observando a fig. 5, podemos imediatamente imaginar o esquema constituído por um tubo terminado por um filtro. Este tubo é a própria sonda cónica holandesa, empregue para trabalhos de sondagem para fundações. Na parte superior existe um reservatório calibrado, contendo água. A este, está ligado um tubo em comunicação com um reservatório de vácuo, com o respectivo manómetro.

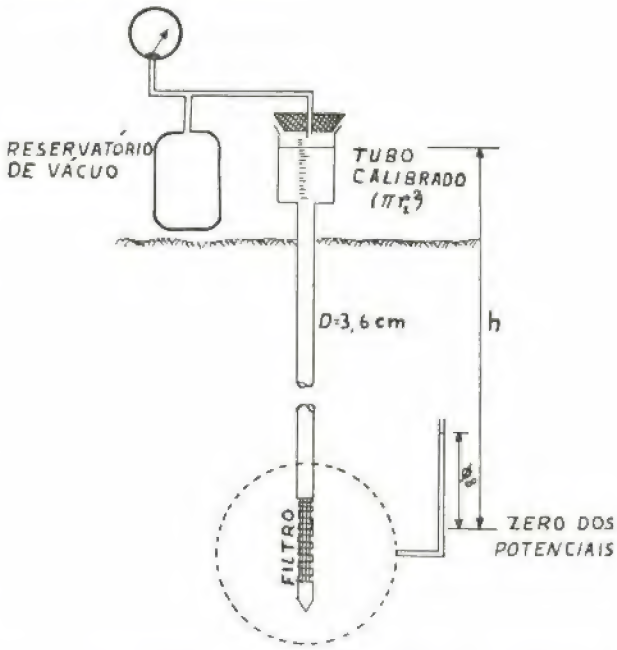


Fig. 5 — Dispositivo para a determinação de k usando a sonda holandesa

O princípio do método é o seguinte: Se chamarmos R_0 ao raio dum filtro esférico equivalente dando o mesmo caudal que o cilíndrico teremos que

$$Q = (h - \phi_\infty)\ k\ 4\pi R_0 \qquad (17)$$

Nesta equação Q é o caudal e h e ϕ_∞ os potenciais como se indicam na figura. Tal relação vem directamente da lei de Darcy. O valor de ϕ_∞ — potencial da água subterrânea no início do ensaio — é determinável mais tarde.

Observemos agora a fig. 6, em que se representa em diagrama a variação de altura *h* com o tempo. É evidente que, para uma altura ini-

cial igual a ϕ_∞, não haverá escoamento. Então, por semelhança de triângulos virá

$$\frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{h - \phi_\infty}{t_e} \qquad (18)$$

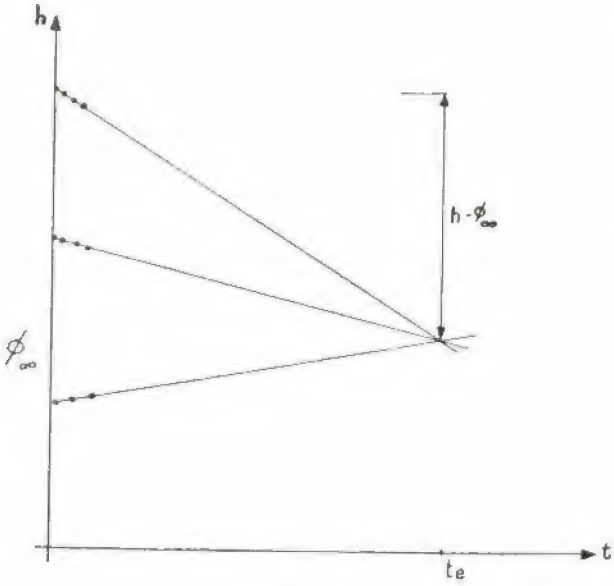


Fig. 6

Tendo em linha de conta agora (17) e a relação entre a descida da água no reservatório e o seu diâmetro, teremos

$$\boxed{k = \frac{1}{t_e} \frac{\pi r_1^2}{4 \pi R_o}} \qquad (19)$$

Nesta expressão é necessário determinar t_e e R_o pois r_1 é conhecido. R_o pode ser determinado por analogia eléctrica, de uma vez para sempre, para um dado filtro, por meio dum electrodo das mesmas dimensões num recipiente com água salina.

Quanto a *te*, observando (19), vemos que é independente do *h* inicial e portanto, repetindo o ensaio para vários, as rectas que se definem no diagrama devem ser todas concorrentes num ponto único. Com o seu traçado obtemos não só *te* como ϕ_∞.

Como para cada aparelho $\frac{\pi r_1^2}{4 \pi R_o}$ é uma constante, no ensaio bastará recolher para diferentes h iniciais a sua variação com o tempo, traçar as rectas e calcular *te*.

Crítica — Já nos referimos de início aos inconvenientes de carácter local e dificuldades de aplicação do método por carestia do material a utilizar. Por outro lado, sòmente pode ser aplicado para solos de relativamente grande permeabilidade, o que lhe tira amplitude de aplicação. O método pode ser generalizado para solos de menores permeabilidades como os solos coesivos, mas os inconvenientes apontados são ainda aumentados, pelo que nos abstemos de mais comentários.

3.5. — Determinação de k e c pela análise dos potenciais

3.5.1 — *Introdução*

Passámos em revista nos parágrafos anteriores os vários métodos para a determinação de k. Até aqui a resistência c tem estado ausente pelas razões óbvias, consequentes da sua própria definição. Temos criticado sempre os casos apresentados pelo seu carácter local e pouco representativo das formações. Vamos abordar agora neste capítulo e no seguinte o método que reputamos de mais digno de confiança e de características mais gerais.

Não cabe no âmbito do presente trabalho fazer uma análise de cada caso ou perfil de terreno, antes abordaremos sòmente os que se nos afiguram mais representativos e interessantes. Os outros mais simples serão fàcilmente deduzidos pelo leitor mais familiarizado com estes problemas, e as equações regedoras dos fenómenos poderão ser encontradas em qualquer livro da especialidade.

3.5.2. — *Princípio geral do método* — Já tivemos ocasião de assinalar a equação fundamental dos escoamentos subterrâneos — a lei de Darcy. Com ela, e com a equação da continuidade, podem, pelo menos teòricamente, ser resolvidos todos os problemas e formas de escoamento. A dificuldade reside normalmente na integração das equações diferenciais e na introdução das condições aos limites.

São variadas as ocasiões em que a natureza nos oferece óptimos meios para a aplicação de tal método, entre as quais citaremos as infiltrações por debaixo dos diques, as perdas em canais de rega, os escoamentos subterrâneos junto às margens dos rios, a percolação da água das chuvas em direcção ao mar ou lagos, enfim um sem número delas.

É imprescindível ter uma ideia do perfil geológico do terreno, sem o qual a observação do escoamento não tem significado. Para tanto, há que se proceder a um estudo prévio, por meio da pesquisa geofísica ou de perfurações. A primeira tem-se mostrado de grande valor, sendo notável a economia da sua aplicação principalmente no ramo geoeléctrico.

Portanto, e resumindo, teremos que:

I) Possuir uma ideia tão correcta quanto possível do perfil do terreno, para o que prospecção geofísica e perfurações tem que ser efectuadas.

II) Conhecimento das condições aos limites através da simples observação das condições locais que originam o escoamento.

III) Obtenção das cartas freatimétricas e de potenciais por meio da aplicação de tubos piezométricos.

IV) Dedução da equação teórica que regerá o fenómeno. Tal equação dará a superfície freática ou potencial em função das condições aos limites e das constantes de formação.

V) Conjugando III com IV obter as citadas constantes.

3.5.3.4 — *Exemplo de aplicação* — Seguiremos a par e passo os pontos assinalados na alínea anterior, para um completo esclarecimento.

I) Perfil de terreno — Não interessa para o efeito, o modo como foi obtido tal perfil. Ele é constituído por uma areia fina dunar limitada inferiormente por uma camada de argila semipermeável (vide Fig. 7).

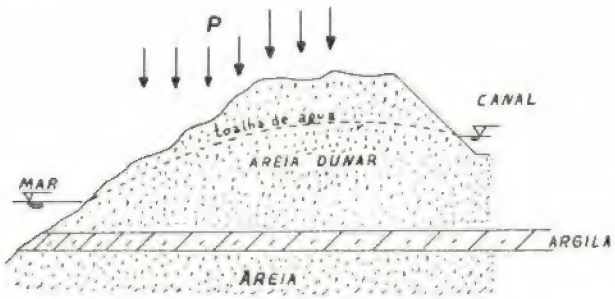


Fig. 7

Considerando o nível médio das águas do mar como zero, a parte superior da camada de argila encontra-se à cota — 11,00 m com uma espessura de cerca de 5,00 m. As dunas atingem por vezes a cota + 20,00 m, embora não tenha interesse para o cálculo que vamos proceder.

II) Condições aos limites — A zona em estudo é orientada na direcção SW — NE sendo constituída por uma faixa limitada pelo mar e por um canal conforme a secção esquematizada na Fig. 7 representa. A chuva anual média que cai na zona provoca um escoamento subterrâneo em direcção ao canal e ao mar. Por seu lado, inferiormente à camada de argila, estabelecer-se-á um potencial que, sendo diferente do formado na areia dunar, provocará uma percolação através da camada semipermeável.

O valor das cotas no mar e no canal é conhecido, bem como a chuva útil P igual à precipitação menos a evapotranspiração.

III) Cartas isopotenciais — Por meio da observação de tubos piezométricos cujas extremidades exploraram quer a zona dunar quer a artesiana, inferiormente à argila, foi possível desenhar as cartas que apresentamos na Fig. 8 e 9.

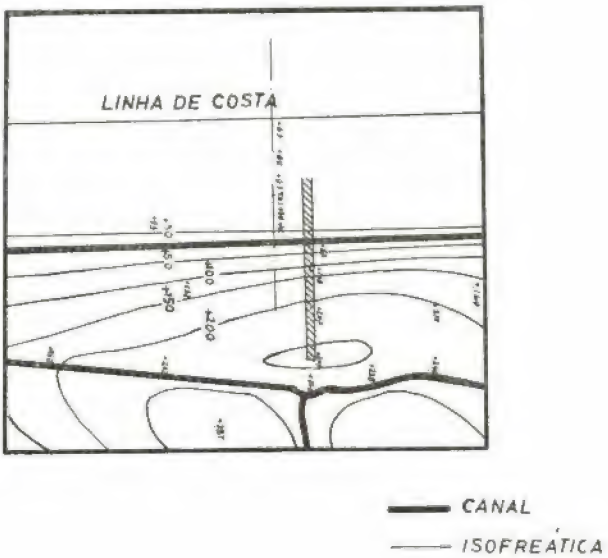


Fig. 8 — Carta freatimétrica da zona da areia dunar
Valores referidos ao zero hidrográfico

Na Fig. 8 apresentamos as linhas de igual cota piezométrica acima da camada de argila com intervalor de 50 cm, sendo indicadas as cotas obtidas nos poços que foram colocados para observação bem como os níveis no mar e no canal.

A Fig. 9 dá-nos um mapa idêntico mas com as isopotenciais na camada artesiana sob a argila, desenhadas de 10 em 10 cm.

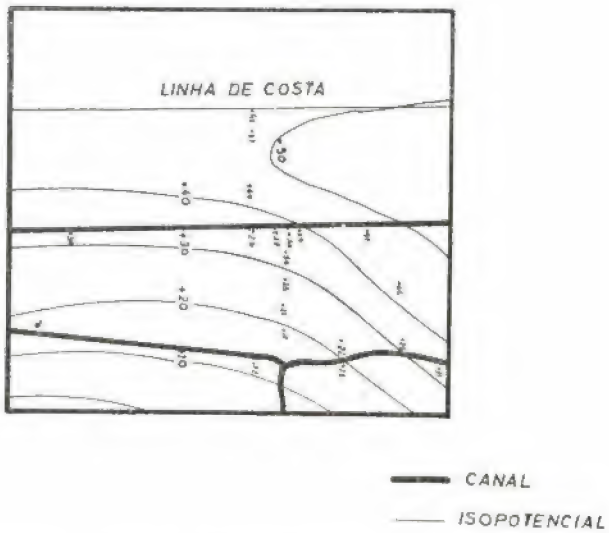


Fig. 9 — Carta de isopotenciais sob a camada de argila
Valores referidos ao zero hidrográfico

IV) Equação regedora do fenómeno — Consideremos uma faixa de largura unitária e definamos as seguintes grandezas:

h — altura da camada freática acima duma linha de referência

φ — potencial da camada artesiana referida ao mesmo zero

q — caudal escoado por unidade de largura

k — permeabilidade da areia dunar

c — resistência da argila

P — chuva útil anual média

x — distância horizontal contada positivamente da linha de costa para o canal.

Deste modo a lei de Darcy dará

$$q = -k h \frac{dh}{dx} \qquad (20)$$

e a equação da continuidade

$$\frac{dq}{dx} = P - \frac{h - \varphi}{c} \qquad (21)$$

Na equacão (21) $\frac{h-\varphi}{c}$ representa a parte do caudal que se infiltra. Se consideramos que o valor de h é constante e igual a kH, o que se pode admitir em face da pequena variação de h em relação à espessura da camada de escoamento, combinando (20) com (21) e integrando, obteremos

$$\boxed{h = C_1 e^{-\frac{x}{\lambda}} + C_2 e^{+\frac{x}{\lambda}} + Pc + \varphi} \qquad (22)$$

em que C_1 e C_2 são constantes de integração e $\lambda = \sqrt{kHC}$ é o chamado comprimento característico.

É esta a equação regedora do fenómeno que tentaremos aplicar para a determinação dos constantes de formação.

V) — Determinação das constantes c e k.

Constatamos pois a existência de 2 incógnitas e sòmente possuímos uma equação, de tal modo que o problema parece indeterminado. Há que recorrer ao auxílio de um método para a determinação primeiramente do valor de *c*. Designá-lo-emos por método do «balanço hidrológico». Vejamos em que consiste.

Se considerarmos uma dada área A de terreno cujo perfil é igual ao apresentado anteriormente, verifica-se a seguinte igualdade ao fim dum certo período de tempo.

$$PA = \Delta S + Q_e + Q_i \qquad (23)$$

em que

P — precipitacão útil no período considerado

ΔS — variação de volume acumulado

Q_e — volume escoado através das superfícies limítrofes

Q_i — volume infiltrado através da camada de argila.

O conhecimento de P, ΔS e Q_e conduzirá ao de Q_i donde o valor de *c* é imediato pela sua própria definição

$$\boxed{c = \frac{h - \varphi}{Q_i / A}} \qquad (24)$$

Volvemos à fig. 8 e consideremos uma faixa de 1 m por 1.000 m como está esquematizado. Observando-a, verificamos que em virtude da posição das isofreáticas não haverá escoamento lateral. Deste modo, é de prever que Q_e será sòmente o caudal escoado pelo canal intermé-

dio, uma vez que os extremos da secção atingem valores máximos de altura freática.

Se tomarmos um período de 1 ano em condições médias, é de admitir que ΔS seja desprezável. Dentro deste critério teremos, como valores observados.

$$\left|\begin{array}{l} A = 1000\ m^2 \\ P = 460\ mm/ano \\ \Delta S = 0 \\ Q_e = 210\ m^3/ano\text{-}metro \\ \Delta h = 1{,}00\ m.\ (media\ dos\ mapas, \\ \qquad fig.\ 8\ e\ 9). \end{array}\right.$$

Aplicando (23) obtemos $Q_i = 250\ m^3/ano$ e (24) dar-nos-à

$$c = 4\ anos$$

É, pois, este o valor da resistência para a zona em estudo. Passemos então à determinação do valor da permeabilidade da areia dunar.

Observando novamente a fig. 8 consideremos a secção entre o mar e o canal, ao longo da qual uma série de tubos piezométricos foi colocada. Os valores nela observados estão indicados no diagrama (h, x) da fig. 10.

Estes pontos serão teòricamente cobertos pela equação (22). Dentro deste critério, a cada valor de λ e em face das condições aos limites, corresponderá uma equação $h = f(x)$. Repetindo o raciocínio para vários λ obtemos a curva que mais se aproxima da observada, o que nos indicará o comprimento característico e consequentemente a transmissibilidade.

Resumo dos cálculos:

— Valores conhecidos

$$P = 460\ mm$$
$$c = 4\ anos$$
$$\varphi = 0{,}45\ m.$$

— Equação a verificar.

$$h = C_1\, e^{-x/\lambda} + C_2\, e^{+x/\lambda} + 2{,}29$$

— Condições ao limites

$$\left|\begin{array}{l} x = 0 \\ h = -0{,}22\ m. \end{array}\right. \quad \left|\begin{array}{l} x = 820\ m \\ h = +0{,}03\ m. \end{array}\right.$$

— Verificações

$$\lambda = 250m \quad h = -2{,}428\, e^{-x/250} - 0{,}082\, e^{+x/250} + 2{,}29$$
$$\lambda = 300m \quad h = -2{,}373\, e^{-x/300} - 0{,}137\, e^{+x/300} + 2{,}29$$
$$\lambda = 350m \quad h = -2{,}314\, e^{-x/350} - 0{,}196\, e^{+x/350} + 2{,}29$$

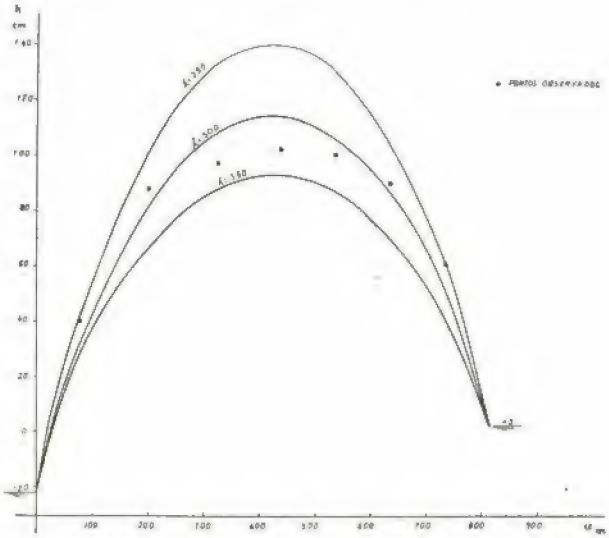


Fig. 10

Estas três curvas estão representadas na mesma fig. 10. Como vemos, a que mais se aproxima é a referente a $\lambda = 300$ m. Deste modo

$$kH = \frac{\lambda^2}{c} = \frac{300^2}{4 \times 365} \approx 62\ m^2/dia$$

a que corresponde uma permeabilidade 5 m/d em face do valor da altura média da camada freática que é 12 m.

3.6 — Testes de bombagem

É este o último método que abordaremos para as determinações das constantes k e c. Não é afinal mais que um caso particular do anterior, análise da variação de potenciais mas, pelas suas características especiais, merece um estudo mais profundo.

Para levar a cabo um teste de bombagem é necessário colocar, em duas direcções perpendiculares e em redor dum poço, uma série de tubos piezométicos cuja distância entre si dependerá das características da camada, tais como a permeabilidade, espessura, etc. Nestes tubos é medido o nível da água quando a bombagem no poço é iniciada e depois que as condições de estaciona-

ridade são obtidas. Então, termina-se o ensaio e novamente os níveis são registados mais tarde. A diferença entre os valores observados quando das condições estacionárias de bombagem e os das condições iniciais ou finais darão a descida de potencial, através da qual os raciocínios poderão ser feitos.

Como vemos, em princípio, o processo é simples, mas várias circunstâncias ocorrem normalmente no sentido da dificuldade da obtenção de bons resultados. Uma delas é a variação no valor dos potenciais antes e depois do teste. Na realidade, e tomando a própria toalha freática, vejamos quais as causas que podem originar a sua fluctuação.

Podemos dividí-los em dois grupos:

1. Influência humana
2. Influência natural.

Na influência humana estão compreendidas a bombagem, a recarga artificial e as cargas exteriores. As duas primeiras são óbvias e, para o caso presente da análise de testes de bombagem, não terão importância. A terceira refere-se à variação da pressão na água devida à aplicação de cargas exteriores levando em consideração as propriedades elásticas do solo. Normalmente os valores de flutuação são pequenos.

Quanto às influências naturais são de considerar a evapotranspiração, fenómenos metereológicos e marés. Principalmente estas últimas são de cuidar em zonas costeiras.

Põe-se então o problema de como levá-las em consideração. A dificuldade é grande e o processo mais indicado é aumentar a capacidade de extracção, de tal modo que os erros relativos das descidas de potencial em relação às flutuações das camadas freáticas seja suficientemente pequeno. Quando um só poço não é bastante, vários adjacentes devem ser empregues.

Outro ponto que interessa focar é o tempo necessário para a obtenção da permanência no escoamento. Se em camadas artesianas pode ser uma questão de horas, nas freáticas pode atingir tantos dias que o melhor é a aplicação do método para regime variável que mais adiante veremos.

3.6.1 — *Análise do movimento permanente*

Abordaremos dentro deste capítulo quatro casos que consideramos típicos do que poderá vir a ocorrer na natureza. No intuito de dar a este trabalho um cunho prático elucidaremos dois deles com exemplos que melhor esclarecerão o leitor.

Vimos já nas notas introductórias desta parte como era constituido um teste de bombagem. Passaremos agora uma revista ás fórmulas a aplicar em cada caso e ao método a seguir.

3.6.1.1 — *Poço numa camada artesiana*

Consideremos o esquema da fig. 11. Nele se definem os significados das diversas grandezas postas em jogo. O poço ocupa a totalidade da camada e para tal caso a equação regedora do do fenómeno é

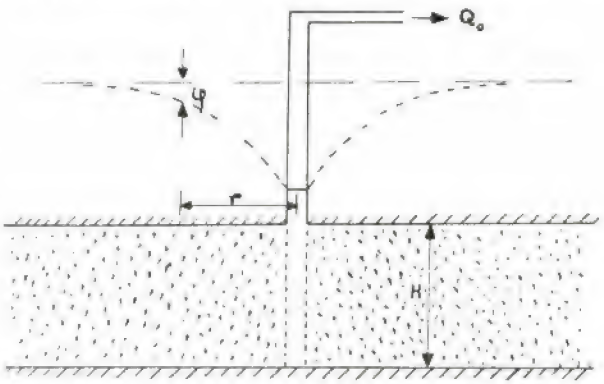


Fig. 11 — Teste de bombagem numa camada artesiana simples

$$\boxed{\varphi = \frac{Q_o}{2\pi k H} \ln \frac{R}{r}} \qquad (25)$$

Nesta equação é

φ — queda potencial
Q_o — caudal bombado
kH — transmissibilidade da camada
r — distância ao eixo do poço
R — distância para queda de potencial nula.

A sua dedução é fácil e encontra-se em qualquer livro de escoamentos subterrâneos.

Vejamos então como proceder, uma vez obtida a equação. Se a observarmos verificamos que φ varia linearmente com o logaritmo da relação R/r. Deste modo, ao colocarmos as quedas de potencial observadas num diagrama de φ em escala

linear e r em escala logarítmica, obteremos uma recta, cujo coeficiente angular é uma medida da transmissibilidade k H.

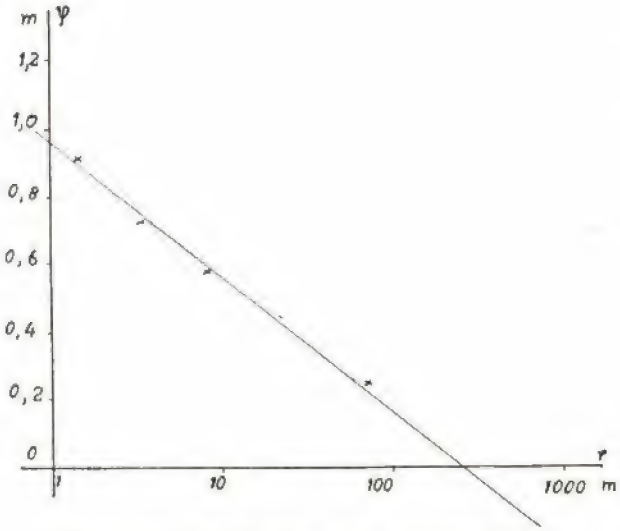


Fig. 12 — Variação de φ com r numa camada artesiana simples

Tal diagrama está representado na fig. 12. Designando dois pontos quaisquer dessa recta pelos índices 1 e 2, teremos como consequência da fórmula (25)

$$\boxed{k\,H = \frac{Q_0 \ln r_2/r_1}{2\,\pi\,(\varphi_1 - \varphi_2)}} \qquad (26)$$

Resta-nos assinalar o facto de que, normalmente, o poço não ocupa completamente a camada aquífera, o que dá como consequência uma maior perda de potencial até uma distância igual a meia ou uma vez a altura H. Deste modo é provável que os primeiros pontos observados se situem acima da linha recta definida na fig. 12.

3.6.1.2 — *Poço numa camada filtrante simples*

Já tivemos ocasião de referir, quer quando da definição de resistência, quer em 3.5, à existência de camadas semi-permeáveis. Designaremos por camada filtrante simples uma formação artesiana limitada por um estrato semi-permeável superiormente e uma base impermeável inferiormenre. Sobre aquela existe uma toalha freática, conforme se esquematiza na fig. 13.

Põe-se o problema da determinação da permeabilidade da camada filtrante simples e a resistência do estrato semi-permeável.

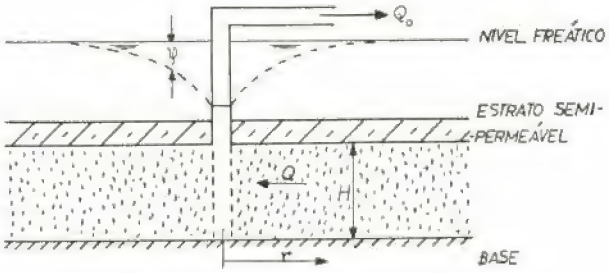


Fig. 13 — Teste de bombagem numa camada filtrante simples

Como anteriormente, vejamos qual a equação que rege o fenómeno do escoamento em direcção ao poço donde se bomba um caudal Q_0 e cujo filtro ocupa a totalidade da camada a investigar.

A lei de Darcy e a equação da continuidade tomam agora respectivamente a forma

$$Q = -2\,\pi\,r\,H\,k\,\frac{d\varphi}{dr}$$

$$dQ = -2\,\pi\,r\,dr\,\frac{\varphi}{c}$$

conduzindo à equação diferencial

$$\frac{d^2\varphi}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{d\varphi}{dr} - \frac{\varphi}{kHc} = 0$$

Esta equação possui como solução

$$\boxed{\varphi = C_1\,I_0\left(\frac{r}{\lambda}\right) + C_2\,K_0\left(\frac{r}{\lambda}\right)} \qquad (27)$$

em que I_0 e K_0 são funções de Bessel.

Nota — As notações I_0 e K_0 são inglesas e a correspondência com a alemã é a seguinte:

$$I_0\left(\frac{r}{\lambda}\right) = J_0\left(i\,\frac{r}{\lambda}\right)$$

$$K_0\left(\frac{r}{\lambda}\right) = \left(i\,\pi/2\right)\,H_0^1\left(i\,\frac{r}{\lambda}\right)$$

Para os valores destas funções consultar «Funktionentafeln» por Jahnke e Emde.

A equação (27) é susceptível de simplificação; se considerarmos as condições aos limites $r = \infty$ $\varphi = 0$ e $r = r_0$ $Q = Q_0$ teremos

$$\varphi = \frac{Q_0}{2\pi k H} \frac{K_0 (r/\lambda)}{\frac{r_0}{\lambda} K_1 (r_0/\lambda)}$$

Finalmente, e levando em conta que dum modo geral $r_0 << \lambda$, chegaremos a (28) como equação final

$$\boxed{\varphi = \frac{Q_0}{2\pi k H} K_0 \left(\frac{r}{\lambda}\right)} \qquad (28)$$

Vejamos então como utilizá-la. Se a compararmos com (25), verificamos a semelhança de forma, pelo que o processo resolutivo será o mesmo. Na realidade, quando num diagrama com divisão logarítmica em ambos os eixos se colocam as quedas de potencial φ observadas como função da distância r e quando a curva K_0 (x) desenhada na mesma escala é movida sem rotação, isto é paralelamente aos eixos, de modo a cobrir, na medida do possível, os pontos observados, o deslocamento vertical dá o valor da transmissibilidade k H e o horizontal o comprimento característico λ.

Deste modo, se designarmos com índice *a* um ponto genérico da coincidência será de (28)

$$\boxed{k H = \frac{Q_0}{2\pi} \frac{K_0 (x_a)}{\varphi_a}} \qquad (29)$$

$$\boxed{\lambda = \frac{r_a}{x_a}} \qquad (30)$$

Estamos certos que qualquer dúvida sobre a interpretação destas considerações será esclarecida quando da aplicação que faremos seguidamente.

Antes porém, convém fazer ainda umas observações. Na vizinhança do poço os valores de r/λ são muito pequenos e função de Bessel degenera num logaritmo tomando a equação (27) a forma

$$\boxed{\varphi = \frac{Q_0}{2\pi k H} \ln \frac{1{,}123\,\lambda}{r}} \qquad (31)$$

O processo de análise pode então ser diferente. Utilizaremos agora a representação $\varphi = f(r)$ diagrama em que φ estará em escala linear e r em logarítmica pelo que, para valores pequenos deste se poderá definir uma recta, a inclinação do qual é uma medida da transmissibilidade k H (Fig. 14).

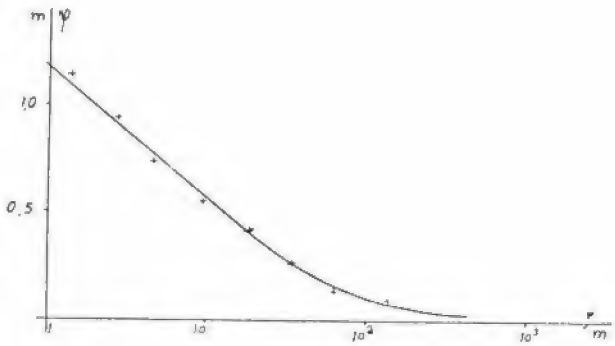


Fig. 14 — Variação de φ com r numa camada filtrante simples

Mantêm-se agora ainda as mesmas considerações feitas relativas à não penetração total do poço ao longo de toda a altura H da camada.

Finalmente, convém notar que a equação (28) não leva em conta a componente vertical do movimento devido à percolação através da camada semipermeável. Dentro deste princípio ela deve ser sòmente aplicada quando $\lambda > 3H$.

Concretizemos então a análise anterior com um exemplo.

— *Teste de bombagem 1*

a) *Dados e observações*

Capacidade $Q_0 = 48$ m³/h
Descida no poço $\varphi_0 = 3{,}50$ m
Diâmetro do filtro D = 0,30 m
Comprimento do filtro L = 11,00 m
Camada filtrante simples.

Direcção N

r	φ
50	0,21
100	0,17
150	0,15
200	0,13
250	0,13
300	0,11
350	0,10
400	0,10
450	0,09
m	m

Direcção S

r	φ
50	0,20
70	0,18
100	0,16
150	0,14
200	0,12
250	0,11
300	0,10
400	0,09
500	0,08
600	0,07
800	0,06
1.000	0,05
m	m

b) *Gráficos a utilizar.*

Conforme afirmámos anteriormente, 2 gráficos há que usar. Na fig. 15 estão colocados os pontos observados utilizando a escala duplamente logarîtmica. Na fig. 16 foi desenhada a curva K_0 (x) com o mesmo módulo. Esta convém que seja feita em papel transparente a fim de se poder sobrepor àquela.

Resumindo e arredondando teremos então:

Transmissibilidade da camada artesiana — 3500 m²/dia
Resistência da camada semipermeável — 1200 dias.

3.6.1.3. — *Poço numa camada filtrante dupla.*

Este problema de resolução complexa não deixa por isso de ser menos interessante.

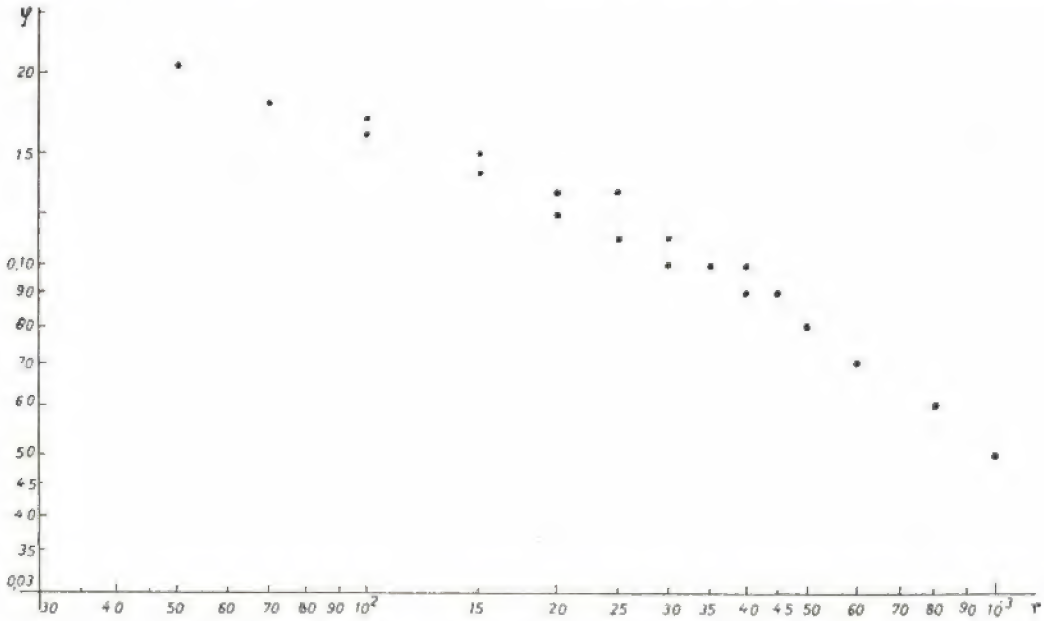


Fig. 15 — Observação relativas ao teste n.º 1

c) *Obtenção dos valores*

Sobrepondo as figs. 16 e 15 de modo a cobrir o melhor possível os pontos observados podemos tirar as seguintes conclusões:

À horizontal $k = 0{,}19$ corresponde $\varphi = 0{,}01$ m.
À vertical $x = 0{,}1$ » $r = 206$ m.

Deste modo, usando as relações (29) e (30) e aplicando também os dados teremos

$$kH = \frac{48 \times 24}{2\pi} \times \frac{0{,}19}{0{,}01} = 3480 \text{ m}^2/\text{dia}$$

$$\lambda = \frac{206}{0{,}1} = 2060 \text{ m}$$

Além disso como $\lambda = \sqrt{kHc}$

$$c = \frac{\lambda^2}{kH} = \frac{2060^2}{3480} = 1220 \text{ dias}$$

Designamos por camada filtrante dupla uma formação artesiana limitada por extractos semipermeáveis. É o caso da fig. 17 em que estão esquematizadas as várias formações e o poço donde se bomba o caudal Q_0. φ_1 e φ_2 são as quedas de potencial na primeira e segunda camadas artesianas respectivamente em relação ao nível freático. Num estado inicial, sem bombagem, os potenciais φ_1 e φ_2 seriam nulos coincidindo as 3 linhas cheia, ponteada e traço interrompido. Logo que começa da camada 1 a extracção de água, haverá uma queda de potencial e consequentemente uma chamada quer da camada superior quer da inferior através dos extractos semipermeáveis. Superiormente, considera-se um nível constante enquanto inferiormente o potencial cai do valor φ_2.

As equações regedoras do fenómeno e que dão φ_1 e φ_2 em função de r são deduzidas como anteriormente da equação da continuidade e da lei

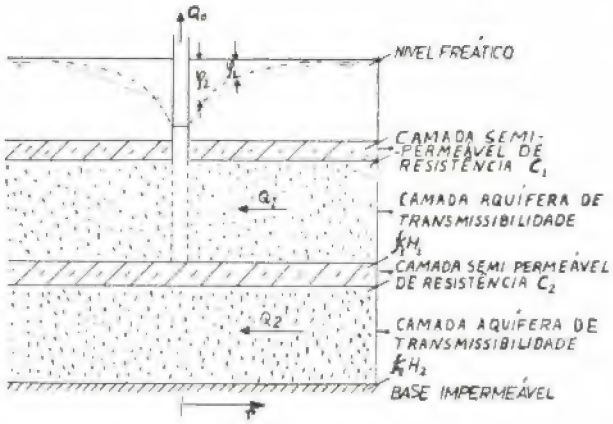


Fig. 17 — Poço numa camada filtrante dupla

de Darcy, para as duas camadas 1 e 2 e conduzem às seguintes relações diferenciais

$$\frac{d^2 \varphi_1}{d r^2} + \frac{1}{r} \frac{d \varphi_1}{d r} = \alpha_1 \varphi_1 + \beta_1 (\varphi_1 - \varphi_2) \quad (32)$$

$$\frac{d^2 \varphi_2}{d r^2} + \frac{1}{r} \frac{d \varphi_2}{d r} = \alpha_2 (\varphi_2 - \varphi_1) \quad (33)$$

em que

$$\alpha_1 = \frac{1}{k_1 H_1 c_1}, \quad \alpha_2 = \frac{1}{k_2 H_2 c_2}, \quad \beta_1 = \frac{1}{k_1 H_1 c_2} \quad (34)$$

Põe-se então o problema da integração das equações (32) e (33) o que é feito tendo em conta as condições aos limites quer para $r = \infty$ quer para $r = r_o$. Deste modo obteremos

$$\boxed{\varphi_1 = \frac{Q_o}{2 \pi k_1 H_1} \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \left\{ (\lambda_1 - \alpha_2) K_o (\sqrt{\lambda_1}\, r) + (\alpha_2 - \lambda_2) K_o (\sqrt{\lambda_2}\, r) \right\}} \quad (35)$$

$$\boxed{\varphi_2 = \frac{Q_o}{2 \pi k_1 H_1} \frac{\alpha_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \left\{ -K_o (\sqrt{\lambda_1}\, r) + K_o (\sqrt{\lambda_2}\, r) \right\}} \quad (36)$$

em que λ_1 e λ_2 ($\lambda_1 > \lambda_2$) são as duas raízes (positivas) da equação quadrática

$$\lambda^2 - \lambda (\alpha_1 + \alpha_2 + \beta_1) + \alpha_1 \alpha_2 = 0$$

isto é

$$\begin{matrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{matrix} = \frac{1}{2} \left\{ \alpha_1 + \alpha_2 + \beta_1 \pm \sqrt{(\alpha_1 + \alpha_2 + \beta_1)^2 - 4 \alpha_1 \alpha_2} \right\} \quad (37)$$

Obtivemos então as equações (35) e (36) definidoras do fenómeno. Vejamos então como poderemos usá-las para a determinação das constantes geo-hidrológicas que são 4 ao todo: c_1, c_2, $k_1 H_1$, $k_2 H_2$.

Recorremos uma vez mais à circunstância da função de Bessel degenerar num logaritmo para pequenos valores da variável. Deste modo, introduzindo aquela aproximação nas equações gerais já referidas e passando para logaritmos decimais obtemos

$$\boxed{\varphi_1 (r) = \frac{Q_o}{2{,}729\, k_1 H_1} \left\{ \frac{\lambda_1 - \alpha_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \log \frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} + \frac{\alpha_2 - \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \log \frac{1}{\lambda_2} + 0{,}0503 \right\} - \frac{Q_o}{2{,}729\, k_1 H_1} \log r} \quad (38)$$

$$\boxed{\varphi_2 (r) = \frac{Q_o}{2{,}729\, k_1 K_1} \frac{\alpha_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \log \frac{\sqrt{\lambda_1}}{\sqrt{\lambda_2}}} \quad (39)$$

A equação (38) é da forma $\varphi_1 (r) = a + b \log r$ em que a e b são constantes. Portanto, se num diagrama semi-logaritmo desenhamos as curvas φ_1 e φ_2 baseadas nas observações efectuadas, verificaremos que os pontos φ_1 correspondentes a pequenos valores de r definem aproximadamente uma recta. Traçando esta que será idealmente tangente à curva no ponto $r = r_o$ obtemos os valores de a e b.

Desta constante é possível obter a transmissibilidade da camada 1.

$$\boxed{k_1 H_1 = \frac{Q_o}{2{,}729\ b}} \quad (40)$$

Restam-nos ainda 3 constantes geo-hidrológicas a determinar. Para tanto, servimo-nos ainda das relações (38) e (39) igualando os a e φ_2 (o) determinados no diagrama anteriormente citado e arbitrando valores a c_1. Deste modo é possível obter c_2 e $k_2 H_2$. Para cada conjunto assim cal-

culado desenharemos as curvas φ_1 e φ_2, sendo correctos os que conduzirem a uma melhor coincidência com as curvas observadas. O processo é laborioso, mas após 2 ou 3 tentativas chega-se a um resultado satisfatório.

As suas relações anteriormente citadas são (39) e (41)

$$a = \frac{Q_o}{2{,}729\, k_1 H_1} \left\{ \frac{\lambda_1 - \alpha_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \log \frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} + \frac{\alpha_2 - \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \log \frac{1}{\sqrt{\lambda_2}} + 0{,}0503 \right\} \qquad (41)$$

Daremos a seguir um exemplo elucidativo.

Teste de bombagem n.º 2

(a) *Dados e observações*

Capacidade $Q_o = 32\ m^3/h$
Descida no poço $\varphi_o = 2{,}8$ m
Diâmetro do filtro $D = 0{,}30$ m.
Comprimento do filtro $L = 11{,}00$.

Teste efectuado em local de perfil semelhante ao indicado na fig. 17 — camada filtrante dupla.

Direcção N

r	φ_1
50	0,25
100	0,18
150	0,14
200	0,12
250	0,11
300	0,09
350	0,08
r	φ_2
20	0,06
390	0,05
m	m

Direcção S

r	φ_1	r	φ_1
50	0,25	570	0,05
100	0,17	600	0,05
150	0,14	650	0,05
200	0,12	700	0,05
250	0,10	760	0,05
310	0,08	800	0,04
360	0,09	850	0,04
410	0,07	900	0,03
460	0,06	950	0,04
510	0,06	1000	0,03
m	m	m	m

b) *Gráficos a utilizar*

Observando a fig. 18, nela vemos as duas curvas representativas da variação de φ_1 e φ_2 e a recta tangente à primeira cuja equação é

$$\varphi_1(r) = 0{,}554 - 0{,}194 \log r \qquad (42)$$

c) *Obtenção dos valores*

Seguindo o raciocínio apresentado anteriormente, teremos, em face de (40) e (42)

$$k_1 H_1 = \frac{Q_o}{2{,}729 \times b} = \frac{32 \times 24}{2{,}729 \times 0{,}194} = 1450\, m^2/d$$

Arbitramos agora para c_1 o valor de 1500 dias. Com eles poderemos determinar nas relações (39) e (41) c_2 e $k_2 H_2$, isto é

$$\frac{Q_o}{2{,}729\ k_1 H_1} \frac{\alpha_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \log \frac{\sqrt{\lambda_1}}{\sqrt{\lambda_2}} = 0{,}06$$

$$\frac{Q_o}{2{,}729\ k_1 H_1} \frac{\lambda_1 - \alpha_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \log \frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} + \frac{\alpha_2 - \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \log \frac{1}{\sqrt{\lambda_2}} + 0{,}0503 = 0{,}554$$

Somos conduzidos então a $c_2 = 150$ dias e $k_2\ H_2 = 3.000\ m^2/dia$. Com estes quatro valores podemos, por meio de (35) e (36) determinar φ_1 e φ_2 como funções de r, cuja coincidência com as da fig. 18 é suficiente para os adoptarmos. Não apresentamos cálculos nem mais tentativas por desnecessário. Resumindo teremos pois

$c_1 = 1500$ dias	$c_2 = 150$ dias
$k_1\ H_1 = 1450\ m^2/d.$	$k_2\ H_2 = 3000\ m^2/d.$

Nota aos capítulos anteriores:

Uma das hipóteses de que partimos é a constância do nível freático superior. Tal constância influenciava directamente as condições aos limites. É natural que ao abstrair água das camadas filtrantes, se produza uma chamada provocada por um aumento da diferença de potencial e uma consequente descida do nível freático superiormente. Se o abastecimento de tal camada não for garantido, há que entrar com tal factor nas considerações anteriormente efectuadas, utilizando o método das tentativas até se obter uma aproximação tal que permita a adopção dos valores obtidos. Tal procedimento complica bastante os cálculos e raramente se aplica.

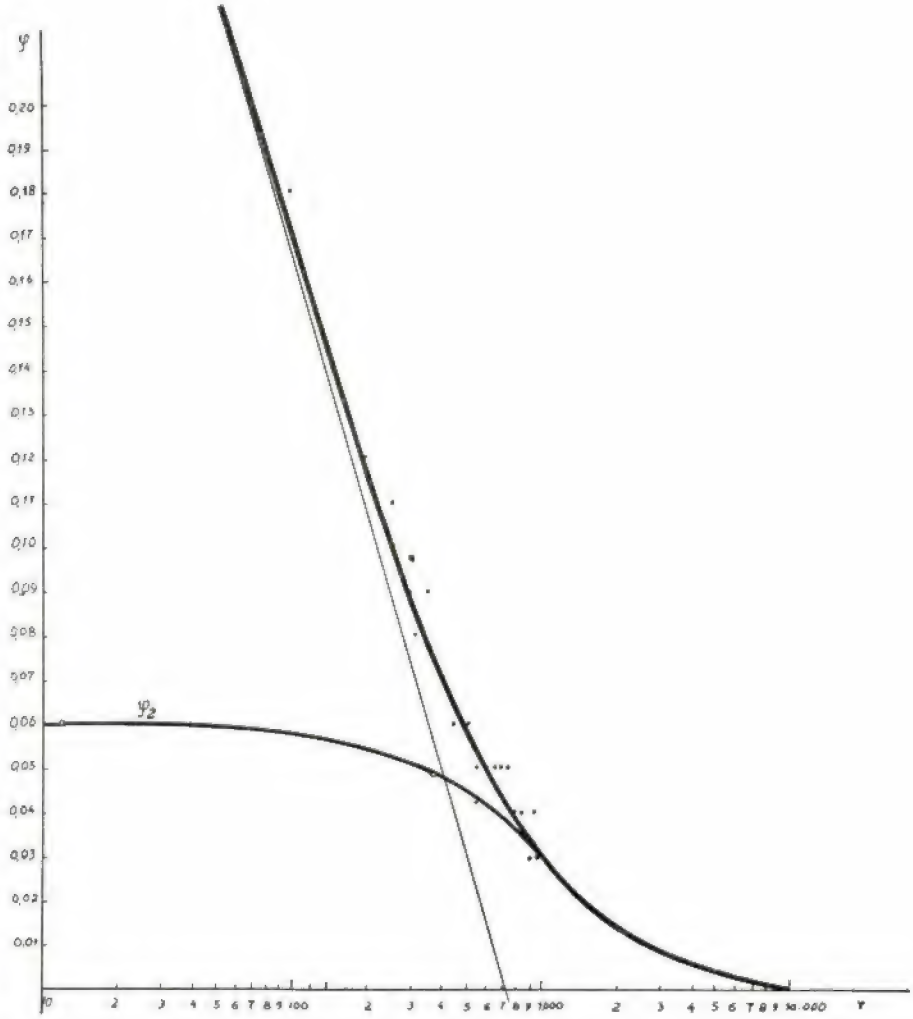


Fig. 18 — Observações do teste n.º 2

Um outro ponto para o qual devemos chamar a atenção é o campo de aplicabilidade das relações deduzidas, limitado às condições aos limites considerados. Não se poderá perder de vista ao interpretar um teste, quais as condições presentes e integrar as equações diferenciais de acordo com elas.

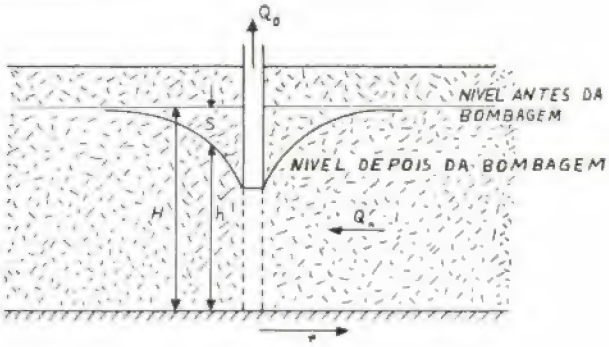


Fig. 19 — Poço numa camada freática

3.6.1.4. — *Poço numa camada freática.*

Reportemo-nos à fig. 19 que nos dá um esquiço do perfil do terreno em tais condições. A análise em tal caso é simples.

A equação regedora do fenómeno é demasiado conhecida e desnecessita dedução.

$$H^2 - h_0^2 = \frac{Q_0}{\pi k} \ln \frac{R}{r_0} \qquad (43)$$

em que h_0 e r_0 são valores no poço e R o raio para $S = 0$.

Esta equação pode tomar o seguinte aspecto

$$S\,(2\,H - S) = \frac{Q_0}{\pi k} \ln \frac{R}{r} \qquad (44)$$

Poderemos então seguir o mesmo método que no capítulo 3.6.1.1. mas substituindo a queda

de potencial Φ por $S(2H-S)$. A inclinação da recta definida será igualmente uma medida da permeabilidade k.

Se os valores de S forem pequenos comparados com H, poderemos mesmo aplicar as fórmulas do parágrafo 3.6.1-1. como se tratasse duma camada artesiana.

3.6.2. — *Análise do movimento variável.*

Como já afirmámos anteriormente quando o teste é operado numa camada freática, há por vezes dificuldade em se obter o movimento permanente. Recorremos então às conclusões de Theis e Edelman que relacionam a descida do nível de àgua *S* com o tempo *t* e a distância r ao centro do poço por meio da fórmula

$$\boxed{S = \frac{Q_o}{4\pi k H} W(u)} \qquad (45)$$

em que W (u) é a função $W(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$ e u é dado pela relação (46). Os valores de W (u) podem ser obtidos de «Funktionentafeln» por E. Jahnke e C. Emde.

$$\boxed{u^2 = \frac{\mu r^2}{4 k H . t}} \qquad (46)$$

O esquema representativo do fenómeno é o mesmo da fig. 19, μ é a produção específica da camada. A relação (45) é válida desde que a transmissibilidade e μ sejam constantes. A primeira, pode, na maior parte dos casos considerar-se como tal, uma vez que S seja pequena comparada com H. O mesmo se não pode afirmar para μ pois, devido às forças capilares, irá aumentando até ao seu verdadeiro valor.

Conhecida a fórmula resolutiva, o método a aplicar é um tudo idêntico ao já exposto em 3.6.1.2. Para tanto, os valores de *S* medidos em vários furos em instantes determinados cujo espaçamento vai aumentando, são colocads num diagrama duplamente logaritmo em funções dos correspondentes valores de r^2/t. Tentando agora sobrepor o melhor possível a curva W (x) desenhada na mesma escala sobre os pontos observados de modo a não rodar, o deslocamento vertical será uma medida para a transmissibilidade e o horizontal para o factor $\frac{\mu}{k H}$. Por vezes tal sobreposição é difícil em face da variação de μ com o tempo.

Temos pois todos os elementos para dar mais uma exemplificação. Antes porém, convém fazer uma observação relativa ainda a este ponto.

Quando por qualquer motivo não existam furos de observação ou as suas indicações não sejam dignas de confiança, a transmissibilidade pode ser determinada pela curva de recuperação de níveis no próprio poço. Concretizando, se observarmos o nível de água ao longo do tempo, verificamos que vai diminuindo à medida que bombamos. Após a interrupção da bombagem, a água tende a voltar ao nível inicial, sendo a curva de recuperação do tipo da esquematizada na fig. 20, depois do tempo Δt.

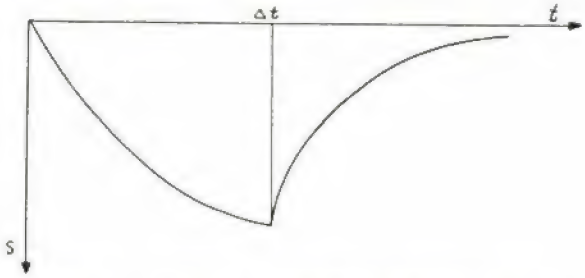


Fig. 20 — Curva de variação de nível no poço

Neste caso, e em virtude de W (u) degenerar num logaritmo (dentro de certos limites de erro) para valores pequenos de u (r pequeno ou t longo) a relação (45) toma o aspecto

$$S = \frac{Q_o}{4\pi k H}\left[\ln \frac{0{,}562}{u_{t=t+\Delta t}} - \ln \frac{0{,}562}{u_{t=t}}\right]$$

ou tendo em consideração (46)

$$\boxed{S = \frac{Q_o}{4\pi k H} \ln \frac{t+\Delta t}{t}} \qquad (47)$$

Isto é a equação duma recta desenhada em escala semi logaritmica em que S é um eixo e $\ln \frac{t+\Delta t}{t}$ o outro, cuja inclinação é uma medida de k H.

À curva de recuperação pode ser obtida no poço ou em qualquer dos furos a ele adjacentes.

Apresentamos a seguir um exemplo em que ambas as técnicas são empregues.

Teste de bombagem n.º 3

a) *Dados e observações*

— Poço numa camada artesiana de areia fina.

— Tempo de bombagem $\Delta t = 22$ dias.

— Capacidade $Q_0 = 408$ U. S. g. p. m.

— Observações efectuadas em 3 furos situados a 30, 60 e 150 pés de distância.

b) *Gráficos a utilizar*

Como indicámos anteriormente, há que usar dois diagramas. Num desenhamos a curva W (x) (Fig. 21), noutro colocamos os valores de S observados em função de r^2/t atè aos 22 dias — período de bombagem (Fig. 22).

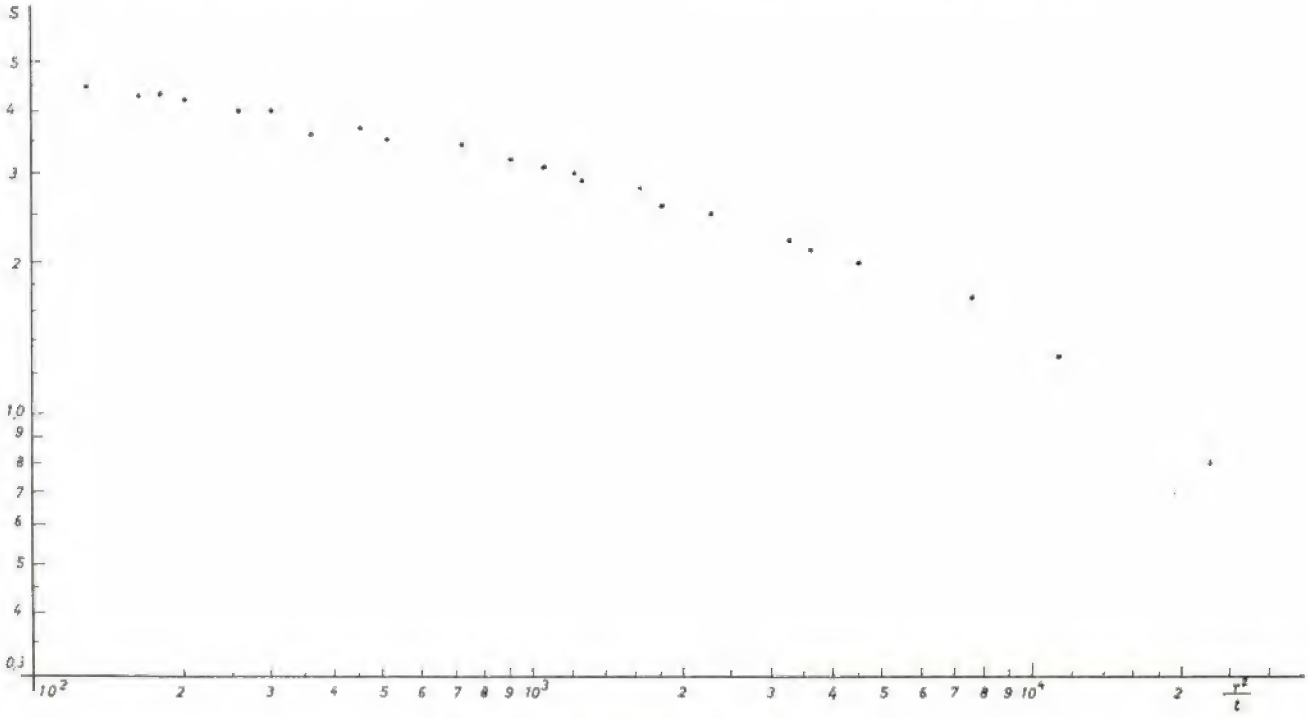


Fig. 22 — Observações do teste n.º 3

Tempo	Quedas de nível		
	a 30 pés	a 60 pés	a 150 pés
1	3,2	2,1	0,8
2	3,7	2,6	1,3
3	4,0	3,0	1,7
5	4,3	3,4	2,0
7	4,5	3,5	2,2
10	4,7	3,6	2,5
14	5,0	4,0	2,8
18	5,1	4,2	2,9
22	5,3	4,3	3,1
23	2,2	2,1	2,0
24	1,8	1,7	1,7
26	1,4	1,4	1,3
28	1,1	1,1	1,1
32	0,9	0,8	0,9
dias	pés	pés	pés

Sobrepondo-os, obtemos as seguintes correspondências:

Horizontalmente $W = 0{,}25$ $S = 0{,}2$

Verticalmente $x = 0{,}023$ $r^2/t = 2.000$

c) *Obtenção de valores*

Reportemo-nos à equação (45) e utilizando a correspondência horizontal teremos:

$$k\,H = \frac{Q_0}{4\pi}\,\frac{W(u)}{S} = \frac{408}{4\pi}\,\frac{0{,}25}{0{,}2} = 40{,}6 \text{ gal}/_{\text{min. pé}}$$

Tentemos agora aplicar o método preconizado utilizando a curva de recuperação no furo situado a 30′ do poço.

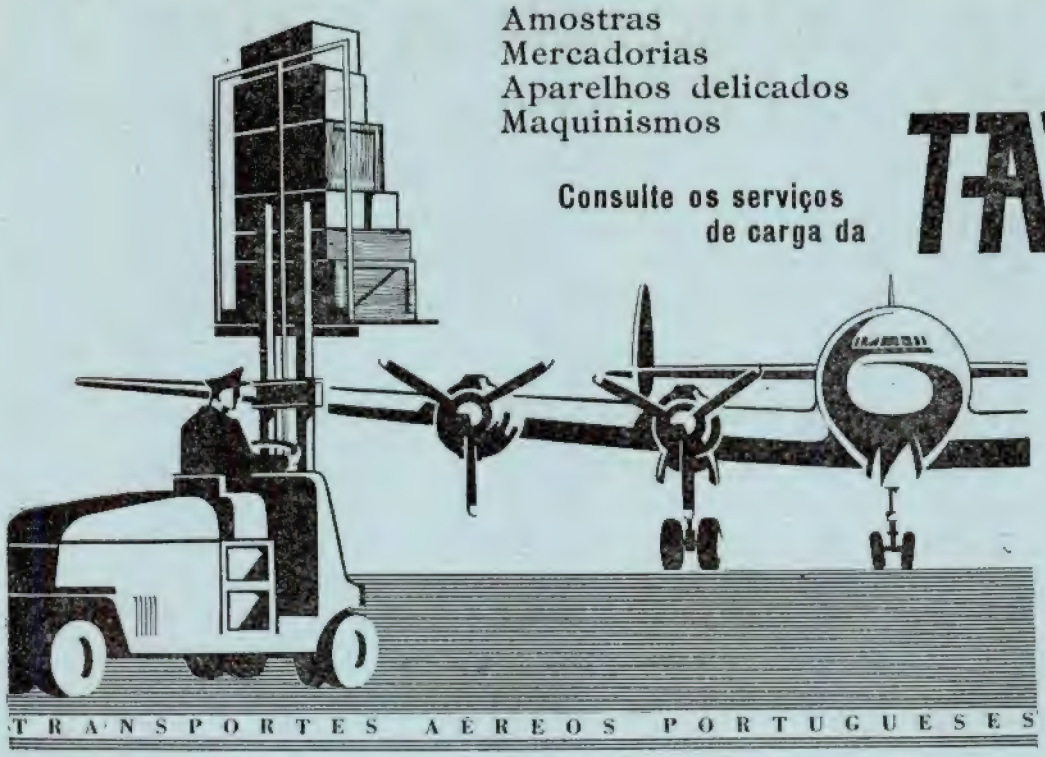
Do quadro de observacão, após os 22 dias de bombagem podemos calcular os seguintes valores:

UTILIZE O AVIÃO PARA EXPEDIR OU RECEBER

Amostras
Mercadorias
Aparelhos delicados
Maquinismos

Consulte os serviços de carga da

TAP

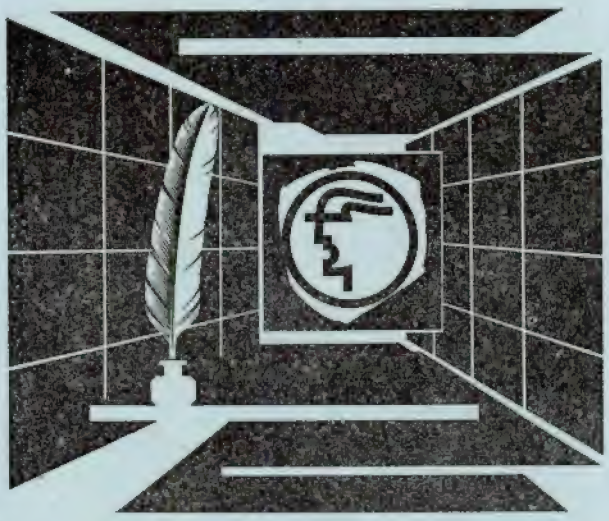


Rua Braancamp, 2, tel. 59101 (10 linhas) Reservas : 41161 (5 linhas). Lisboa

LISBOA — PORTO — MADRID — PARIS — BRUXELAS — LONDRES — TANGER — CASABLANCA
KANO — LEOPOLDVILLE — LUANDA — LOURENÇO MARQUES

FEIRA
INDUSTRIAL
ALEMÃ
HANOVER

26 DE ABRIL - 5 DE MAIO



INSTALAÇÕES DE ESCRITÓRIO

Máquinas de escritório — Máquinas de fotocópias e microcópias — Máquinas heliográficas — Material de organização — Máquinas e aparelhos de desenho — Artigos de desenho — Artigos de escritório — Móveis de escritório — Cofres fortes e instalações de tesouraria — Artigos de papelaria — Livros comerciais — Artigos pedagógicos — Artigos de publicidade — Embalagens — Artigos de edição.

Informações e catálogos na Câmara de Comércio Alemã de Portugal

RUA DE S. JOSÉ, 41 — LISBOA

METALÚRGICA DE BENFICA, L.DA

CONSTRUTORA DE MÁQUINAS

Fundição de ferro e metais não ferrosos

Especialistas em fundição de rolos regelados com dureza de 500 «BRINELL» na superfície de trabalho, indicados para as indústrias de:

Borracha * Plásticos * Cerâmica * Tintas
Papel * Moagens * Chocolates

Fundição de peças até 10 toneladas de um só jacto

Preços especiais para grandes séries em moldações mecânicas

Fomentar a INDÚSTRIA NACIONAL
É aumentar PORTUGAL

Acaba de aparecer

Manual de Hidráulica Geral

SÍNTESE TEÓRICA

TABELAS E ÁBACOS

FORMULÁRIO POLIGLOTA

Pelo Eng.º Armando Lencastre

Chefe da Secção de Hidráulica Fluvial do L. N. E. C.
Assistente do I. S. T.

Pedidos à "TÉCNICA"

Preço 150$00
Desconto 10 % aos assinantes

S	t	$\ln \frac{t+\Delta t}{t}$
2,2	1	3,14
1,8	2	2,48
1,4	4	1,87
1,1	6	1,25
0,9	10	1,16

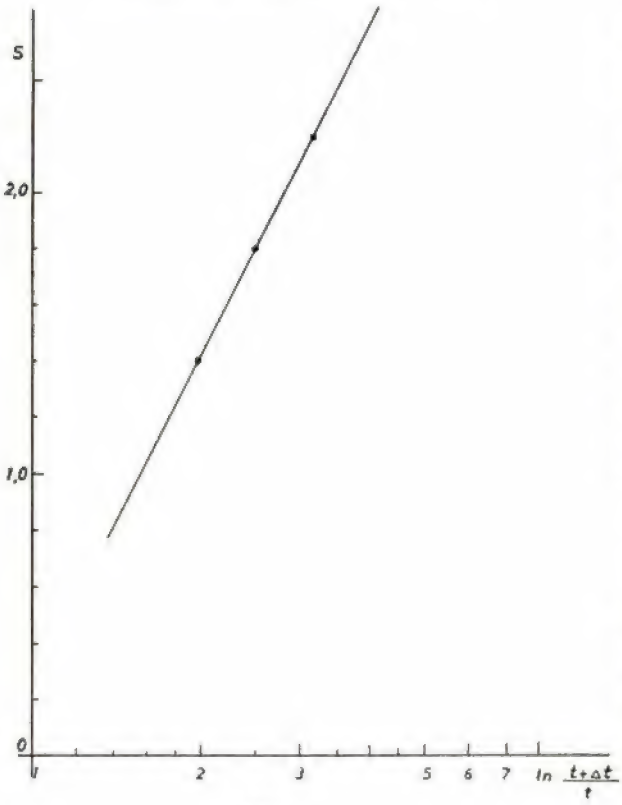


Fig. 23

Colocando agora estes valores na fig. 23, podemos traçar a recta cuja coeficiente angular é $\alpha = 0{,}77$.

Aplicando agora a relação (47)

$$k\,H = \frac{Q_o}{4\pi}\,\frac{1}{\alpha} = \frac{408}{4\pi}\,\frac{1}{0{,}77} = 42{,}5 \text{ gal/}_{\text{min pé}}$$

Tal valor é cerca de 5 % diferente do anterior, o que, dado o facto da observação não ter sido efectuada no próprio poço e devido à aproximação do método, não é exagerado.

3.6.3. — *Crítica aos testes de bombagem.*

Ao longo de todo este capítulo 3.6 temos vindo a definir vários casos de aplicação e aspectos particulares que o método dos testes de bombagem pode apresentar.

Demos-lhe, por ventura, um maior desenvolvimento, na medida em que estamos convictos das suas vantagens sobre os outros, principalmente no que respeita aos valores médios mais representativos a que somos conduzidos e à não necessidade de remover o material da formação.

Mas, contrapondo-se a estas vantagens, alguns inconvenientes inevitáveis devem ser apontados. A maior parte deles foram já por nós abordados quando da descrição dos vários casos, sempre que estabelecíamos as fórmulas representativas dos fenómenos. A falta de homogeneidade, a não completa penetração dos poços na camada em estudo, a consideração sòmente da componente horizontal do movimento, bem como a não constância do nível freático superiormente, contam-se entre os pontos já assinalados. Sem tais hipóteses não poderiam ser no entanto deduzidas fórmulas manuzeáves pelo que o melhor procedimento será, em cada caso particular, tentar avaliar da importância de cada um daqueles inconvenientes, e aplicar a respectiva compensação, sempre que possível.

4. — *Conclusão.*

No decorrer dos capítulos anteriores, tentamos dar ao leitor uma ideia dos vários métodos de que se pode lançar mão para determinar os valores das constantes geo-hidrológicas, cujo emprego está hoje em dia cada vez mais generalizado em inúmeros problemas agronómicos e de engenharia hidráulica. Embora abordando todos eles, demos mais desenvolvimento aos que maior aplicação prática poderão apresentar. Sempre que possível, trouxemos exemplos concretos por nós calculados para uma mais completa elucidação.

SUMMARY

The present study deals with the problem of determination of the geo-hydrological constants of pervious and semi-pervious formations as an important factor in the hydraulic branch of Civil Engineering.

A general review over the known methods is made, with special reference to the field methods as the most reliable ones.

We must draw our attention upon the test pumping analysis for leaky aquifers as well as to the simple agronomic method developed by Ernst.

RÉSUMÉ

La présente publication étudie le problème de

la détermination des constantes geo-hydrologiques des formations perméables et demi-perméables comme un facteur important dans la Génie Hydraulique.

Les méthodes les plus remarquables sont analysées, en faisant une référence spéciale aux méthodes de champ comme les plus représentatives des conditions naturelles.

Nous signalons les testes de pompage pour des couches doublement filtrantes ainsi que la méthode agronomique, très simple, et développée par Ernst.

VIDA ESCOLAR E ASSOCIATIVA

De entre as cartas recebidas sobre a secção dos antigos alunos, publicamos hoje parte da que nos foi enviada pelo Sr. Eng.º Neto Valente. Ela traduz acolhimento que nos apraz registar e representa exortação que nos anima a prosseguir

Ex.mo Sr.Presidente da Direcção da A. E. I. S. T.:

Li, com emoção, na nossa Revista, o entusiástico apelo para se agruparem os antigos alunos do Instituto em departamento da Associação dos alunos actuais.

A ideia, sem ser nova — como ali se diz —, mas apenas latente no espírito daqueles que souberam viver, em comunhão de ideais, a ansiedade dos puros e generosos intentos da idade moça, e que depois se dispersaram nas posições de labor, tem tido o efeito catalítico de os prender àquelas recordações esperançosas dos anos que não voltam e de os fazer pensar e agir, quando é preciso, na perseverança e fé que só a escola tem o condão de iluminar; pois que, se o viver tempera os nervos e as desilusões couraçam o temor da adversidade, mal vai contudo a quem descrer de todas as ilusões, porque isso é sinal de que não teve ilusões, de que não viveu: na vida, as ilusões terão sido tão úteis como as desilusões.

Recordar umas e outras, cotejá-las e inferir, é viver, é colher ensinamentos para caminhar.

Mas mais do que a feição subjectiva — a nossa vida vivida ou a nossa vida vegetada —, aquela ideia do convívio apegado aos bancos da escola é elo fecundo de valorização profissional.

E ao País interessa a valorização dos engenheiros, como aliás interessa a de todos os seus obreiros, pois que todos não somos demais.

O meio século decorrido desde que Alfredo Bensaúde revolucionou o ensino da Engenharia em Portugal é testemunho respeitável de que a revolução deve continuar, de que é preciso superar possíveis tendências de retrocesso escolástico. Para isso tem toda a oportunidade ligarem-se os velhos com os novos; entre uns e outros, aliás, o facho não se apagou!

Recordo as seguintes palavras do saudoso Professor Mira Fernandes, relacionadas com as instalações do Arco do Cego: «Já temos uma casa; oxalá ela seja um lar!»

Mas não será perfeito o lar sem a comunhão dos filhos e dos pais e dos avós. E sempre o bom filho acolheu o progenitor de lar desfeito.

Noutros países, as associações profissionais de núcleo escolar desempenham papel de relevo na cooperação das variadas actividades. Nos Estados Unidos, as Universidades muito devem à influência dos antigos alunos, os quais participam activamente na orientação das escolas: são os profissionais, sem dúvida, quem melhor conhece as exigências de cada profissão e quem pode, na formulação de providências escolares, suprir as naturais insuficiências das Secretarias.

E a Bélgica, por exemplo, agrupa em organismo de alto escalão — a «Fédération Royale des Associations Belges d'Ingénieurs» (FABI) — as associações dos engenheiros de cada uma das suas escolas. É assim possível coordenar e uniformizar por dirigismo superior os objectivos comuns de departamentos diferenciados, sem prejuízo da desejável diferenciação que é índice incontestável de progresso.

À míngua de comparação paralela, temos, também, entre nós, caso similar: o dos antigos alunos do Colégio Militar, polarizados para toda a vida pela formação espiritual da juventude e aferrados às ligações de antanho. Nunca se ouviu dizer que aquele apego a tradições e pergaminhos seja fatuidade ou espírito de casta insusceptível de força coesiva para desígnios em prol da grei. Acusações de tal índole, aliás, só podem ser desejáveis pelo efeito contraproducente, além de denunciarem a mentalidade de quem as fizer.

. . . . . .

Promover a comunhão dos engenheiros, e dos que estudam para engenheiros, ligar os velhos e os novos, é polarizar pela experiência o alvorecer do trabalho fecundo e é rejuvenescer, pelas esperanças e anseios salutares da idade dos vinte anos, a acomodação e algum desânimo dos que já passaram a cintura da vida — é, em suma, valorizar a profissão.

E a valorização do trabalho não precisa de encómios.

Que a ideia prossiga sem desfalecimento — para preencher lacuna de que, afinal, a todos nos cabe alguma culpa.

De V., etc. — *Manuel Neto Valente.*

BIBLIOTECA
FICHEIRO

Classificadores responsáveis:

José Fernando Pinharanda, Carlos Ramalho Carlos, Alberto Esteves Guerra, Arménio de Oliveira Faria Belarmino Silveira e António José Falcão

---

Recortar as indicações bibliográficas que formam uma ficha e estão encimadas por CDU (Classificação Decimal Universal).

Colar cada referência num pequeno rectângulo de cartolina de 75 × 125 mm.

Ordenar pelos índices decimais, *começando da esquerda para a direita*, independentemente do número de algarismos que o índice contiver, e respeitando a seguinte regra de arrumação dos sinais auxiliares:

+ / n.os simples : [ ] = (01/09) (1/9) (=) " "A/Z — .0 .00

Consultar, em casos duvidosos, a exemplificação inserida na «Técnica» n.º 218 e seguintes, ou recorrer Biblioteca da A. E. I. S. T.

Notar que a inserção das fichas nesta publicação respeita a ordem correcta, no intuito de a esclarecer o mais possível.

A comodidade de possuir no próprio local de trabalho um arquivo ordenado e de fácil consulta sobre assuntos que se sabe onde existem, é uma das evidentes vantagens de um ficheiro classificado segundo a CDU.

Os assuntos de que estas fichas são referência ficam patentes à consulta a partir desta data.

LIVROS

C. D. U. 331.1

Mentalidade patronal — O factor humano, perante as exigências das novas técnicas — *Moura (José Horácio de).*
Vol. 1, págs. 7.

C. D. U. 331.124.3

O dirigente intermediário da empresa — *Machado (Fernando Falcão) e Ferreira (José Ribeiro Reis).*
Vol. 1, págs. 4.

C. D. U. 621.3 003.1

Industrias de material eléctrico—*António da Costa Reis*
Vol. 1, págs. 156.

C. D. U. 621.312.003.1 (673 + 679)

A electrificação do Ultramar — Angola e Moçambique — *Blanco (José Luís).*
1957, vol. 1, págs. 60.

C. D. U. 627.131

Tentativa de resolução do problema das curvas de vazão em rios de leito instável — *José Cândido Vicente da Silva.*
Laboratório de Ensaios de Materiais e Mec. do Solo de Moçambique, 1958, vol. 1, págs. 90.
Separata do Boletim da Sociedade de Estudos de Moçambique.

C. D. U. 629.12 (673)

Industria da construção naval em Angola — Necessidade da instalação de estaleiros — *Frederico Cruz.*
II Cong. Ind. Port., 1957, vol. págs. 8.

C. D. U. 631.84.003.1

Indústria de Adubos Azotados—*Mário Estevão da Silva.*
II Cong. Ind. Port., 1957, vol. 1, págs. 35.

C. D. U. 631.84

Adubos líquidos azotados — *Pereira (H. Marques).*
Vol. 1, págs. 8.

C. D. U. 661.42

O sal — *Fragoso (Mário Torroais).*
Vol. 1, págs. 9.

C. D. U. 661.71.067.003.1

Indústria de refinação de petróleos — *Graça (Ricardo).*
Vol. 1, págs. 36.

C. D. U. 662.1/.4

Industrias de explosivos e pirotécnica — *Alves (A. Luciano).*
Vol. 1, págs. 11.

C. D. U. 663.4.003.1

Indústria de cerveja — *Oliveira (Sebastião José de).*
Vol. 1, págs. 27.

Fábrica Portugal

S. A. R. L.

LISBOA

MOBILIÁRIO METÁLICO

EM TODOS OS GÉNEROS

Instalações completas para :

Mobiliário moderno
para

ESCRITÓRIOS
ESCOLAS
BIBLIOTECAS

CLINICAS
HOSPITAIS
SANATÓRIOS
CINEMAS
HOTÉIS
ESPLANADAS

SALAS DE EXPOSIÇÕES :

Rua Febo Moniz, 2 a 20 — Praça dos Restauradores, 49 a 57
Avenidas da República e Elias Garcia — Rua da Graça, 82 e 84

BP
ENERGOL
VISCO-STATIC
MOTOR OIL
BP
BP
ARRANQUE IMEDIATO
MELHORES REPRISES
MAIOR PROTECÇÃO

C. D. U. 663.91.003.1

Indústria de chocolates e cacaus — *Antunes (Francisco Xavier).*
Vol. 1, págs. 12.

C. D. U. 664.1.003.1

Indústria de refinação de açúcar — *Queriol (João Contreiras).*
Vol. 1, págs. 23.

C. D. U. 664.1/.2.003.1

Indústria dos amidos féculas, dextrinas glucoses e seus derivados — *Marques (José Maria Mercier).*
Vol. 1, págs. 11.

C. D. U. 664.67/.68

A indústria de confeitaria em Portugal — *Santos (Mário Gonçalves dos).*
Vol. 1, págs. 18.

C. D. U. 666.3/.7 [373.63]

O ensino técnico e outros problemas na indústria da cerâmica — *Ribeiro (A. Pinto).*
Vol. 1, págs. 3.

C. D. U. 666.3/.7.003.1

Indústrias de cerâmica — *Barros (Manuel Correia de).*
Vol. 1, págs. 18.

C. D. U. 666.5.003.1

Indústria de caulinos — *Penha (José de Almeida).*
Vol. 1, págs. 23.

C. D. U. 667.6.003.1

Tintas em pó e suas necessidades — *Santos (Augusto Gomes dos).*
Vol. 1, págs. 3.

C. D. U. 667.6/.8.003.1

Indústria de tinta e vernizes — *Geada (Sidónio).*
Vol. 1, págs. 21.

C. D. U. 668.44.003.1

Indústria de resinosos — *Ramos (José Lopes).*
Vol. 1, págs. 24.

C. D. U. 669.15.295

Metalurgia do ferro-titânio — *Roquette (Manuel Chagas).*
II Cong. Ind. Port., 1958, vol. 1, págs. 3.

C. D. U. 671.11.003.1

Indústria de ourivesaria — *Marques (Gabriel Ferreira)*
Vol. 1, págs. 33.

C. D. U. 674.83.003.1

A produtividade da indústria corticeira — *Cardoso (Eduardo da Cruz Gomes).*
Vol. 1, págs. 9.

C. D. U. 674.83.001.2

O laboratório da Junta Nacional da Cortiça e a indústrie corticeira — *d'Andrade (Alfredo B. L.).*
Vol. 1, págs. 7.

C. D. U. 674.83001.2

Necessidade de investiqação na indústria corticeira — *d'Andrade (Alfredo B. L.).*
Vol. 1, págs. 5.

C. D. U. 674.84

Industrialização dos resíduos de cortiça — *Mesquita (Basílio A. P. de).*
Vol. 1, págs. 5.

C. D. U. 674.84.003.1

A indústria de aglomerades e granulados — *Vicente (Pedro Vitor Pinto).*
Vol. 1, págs. 20.

C. D. U. 675.003.1

Indústria de curtumes — *Nunes (Carlos Figueiredo).*
Vol. 1, págs. 58.

C. D. U. 677.21

O algodão e a sua indústria — *Amaral (Alfredo Pereira do).*
Vol. 1, pág. 5.

C. D. U. 677.3.003.1

Indústria de lanifícios — *Xavier (João de Bastos).*
Vol. 2, págs. 5.

C. D. U. 677.31.003.1

Indústria de lanifícios — *Chaves (João Ulbach).*
Vol. 1, págs. 36.

C. D. U. 678.5.003.1

Indústria de matérias plásticas — *Henriques (José Marques).*
Vol. 1, págs. 19.

C. D. U. 679.85.003.1

Indústria de mármores e cantarias — *Leite (Augusto Salazar)*
Vol. 1, págs. 14.

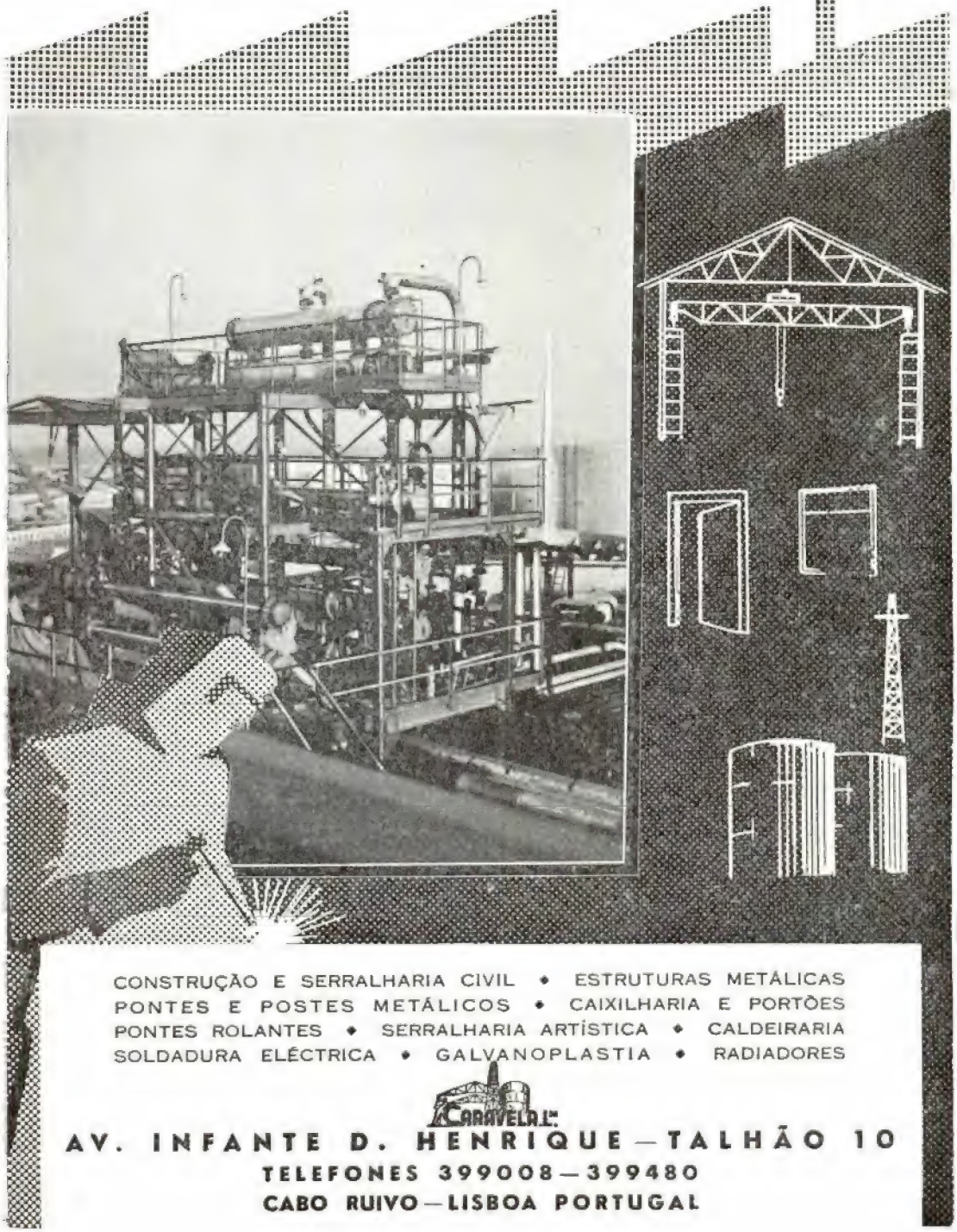
C. D. U. 685.3.003.1

A mecanização total da indústria de calçado — *Ribeiro (António Alberto).*
Vol. 1, págs. 4.

C. D. U. 685.3.003.1

Soluções para as dificuldades da indústria de calçado — *Santos (Serafim Ferreira dos).*
Vol. 1, págs. 7.

FÁBRICA METALURGICA E CONSTRUTORA
CARAVELA, L.DA



CONSTRUÇÃO E SERRALHARIA CIVIL • ESTRUTURAS METÁLICAS
PONTES E POSTES METÁLICOS • CAIXILHARIA E PORTÕES
PONTES ROLANTES • SERRALHARIA ARTÍSTICA • CALDEIRARIA
SOLDADURA ELÉCTRICA • GALVANOPLASTIA • RADIADORES

CARAVELA L.DA

AV. INFANTE D. HENRIQUE — TALHÃO 10
TELEFONES 399008 — 399480
CABO RUIVO — LISBOA PORTUGAL

ARTIGOS DE REVISTAS

C. D. U. 385.11

Financement et conservation des avoirs et du capital des chemins de fer — *Viktor Felder.*

Bulletin du Congrés des Chemins de Fee, 5-1958, vol. 35, n.° 5, pág. 649-671.

C. D. U. 519.42 [512.88]

Asupra invariantilor unui grup de transformări — *Constantin Ionescu-Bujor.*

Bulet. Inst. Polit. Bucuresti, 7/12-1957, vol. 19, n.° 3-4, pág. 27-30.

C. D. U. 523.2

L'origine du système solaire — *Harold Spencer Jones.*

Endeavow, 1958, vol. 17, n.° 67, pág. 140-144.

13 indic. bibliog.

C. D. U. 525.2 : 550.34 (439.1)

Investigations on Seismology and the Physics of the interior of the earth in Hungary 1954-1956 — *Z. Egied.*

Acta Technica, 1957, vol 18, n.° 1-2, pág. 123-131.

Bibliografia.

C. D. U. 526.2'.3 (439.1)

Les travaux géodésiques en Hongrie — *E. Regöczi.*

Acta Technica, 1957, vol. 18, n.° 1-2, pág. 103-115.

C. D. U. 531.114

Unele Elemente de Mecanică Areolară — *Marcian Gutmann.*

Bolet. Instit. Polit. Bucuresti, 7/12-957, vol. 19, n.° 3-4, pág. 45-53.

C. D. U. 531.12

A supra mișcării a nui punct material pe o suprafață de rotatie — *Radu Voinea + Paul Basony.*

Bolet. Inst. Polit. Bucuresti, 7/12-1957, Vol. 19, n.° 3-4, pág. 103-115.

C. D. U. 531.715 : 621.38

L'application de méthodes électroniques en aéromensuration — *A. Ansermet.*

Bulletin Technique de la Suisse Romande, 13-9-1958, n.° 19, pág. 311-314.

C. D. U. 532.517

A supra mișcării elicoidale nepermanente a fluidelor vîscoase — *Stefan Zorea.*

Bolet. Inst. Polit. Bucuresti, 7/12-1957, vol. 19, n.° 3-4, pág. 133/142.

C. D. U. 534.84

A acústica de salas e sua forma — *Karl Ziegler.*

Arquitectura, 9-1958, n.° 62, pág. 51-54.

C. D. U. 535.825.2 : 535.822.9

Les microscopes modernes de mesure — *Werner Illig.*

Zeiss — Bull. Techn., 12-1958, vol. 4, n.° 22, pág. 100-102.

C. D. U. 536 : 539.319 : 669-46

Contraintes apparaissant au cours de l'échauffement de cylindres creux à paroi épaisse — *W. Endres.*

Rev. Brown Boveri, 1-1658, n.° 1, pág. 21 a 28.

C. D. U. 541.515

Radicaux libres en cage — *H. P. Broida.*

Eudeavour, 1958, vol. 17, n.° 68, pág. 208-217.

C. D. U. 546.26 : 545.1.38 : 669.295/6.5

Determination of Carbon in Titaniun and Zirconium and their Alloys by Gravimetric and Condutimetric Methods — *D. F. Wood and M. Williams*

Metallurgia, 7-958, vol. 58, n.° 345, pág. 47-52.

8 referências bibliográficas.

C. D. U. 551.24

Aperçus sur le réseau rhegmatique de la croûte terrestre — *Pierre Hupé.*

Bul. Trimestriel du Service d'Inform. Geólogique, 7-1958, vol. 10, n.° 40, pág. 216.

C. D. U. 551.465 : 632 593.08

Les vagues de l'océan — *G. E. R. Deacon.*

Endeavour, 1958, vol. 17, n.° 67, pág. 134-139.

15 indic. bibl.

C. D. U. 551.50 (439.1)

Main results of meteorological research done in Hungary during the years 1954-1956 — *B. Bell.*

Acta Thechnica, 1957, vol. 18, n.° 1-2, pág. 133-160.

Bibliografia.

C. D. U. 551.51

Contribuição para o estudo da energética da circulação geral da atmosfera — *José Pinto Peixoto.*

Rev. Fac. Ciências, 2.ª série B — Fís. Quí, 1958, pág. 53-234.

C. D. U. 553.06

Necessité d'une enquête sur le mode de concentration des substances minérales — *Jean Lombard.*

Chm. Min. Outre Mer et de la Rech. Min, 10-958, vol. 26, n.° 268, pág. 279-283.

14 ind. bibl.

C. D. U. 581.54

Plantes grasses — *W. O. James.*

Endeavour, 4-958, vol. 17, n.° 66, pág. 90-95.

ATLANTIC
UMA TINTA
PARA CADA FIM
FABRICA LUSITANA
DE TINTAS E VERNIZES
LIMITADA
FUNDADA EM 1917

C. D. U. 613.633 : 622.8 : 624.1

O problema da silicose nas obras dos aproveitamentos hidroeléctricos — *Fernando Soares Carneiro.*

Electricidade, 10/12-1958, n.º 8, pág. 319-322.

C. D. U. 614.7

O saneamento da água — *Haroldo Jezler.*

Revista Politécnica, 1957, n.º 173, pág. 51-58.

C. D. U. 620.92

Nuclear energy in the service of man — *T. E. Allibone*

Journal, 3-1958, vol. 4, n.º 39, pág. 129 a 138.

C. D. U. 621.3.064.25

Mecanisme hidraulique de commande a distance des sectionneurs e haute tension pour postes extérieurs.

Les nouvelles del E. I. B., 10-1958, n.º 91.

C. D. U. 621.3.07

Mesure, enregistrement et régulation industriel par potentiométres électroniques — *F. Lafay.*

Electricité, 5-1958, n.º 249, pág. 184-188.

C. D. U. 621.3.002.5 : 311.3 (469)

Estatística das Instalações eléctricas — *Ministério da Economia. Direcção-Geral dos Serviços Eléctricos.*

1957.

C. D. U. 621.311.22.

Features of New Power Stations in South Wales — *C. W. A. Priest.*

Journal, 3-1958, vol. 4, n.º 39, pág. 123 a 129.

C. D. U. 621.316.91

Thermistors for time-lag auxiliary relays — *F. Gustafssom.*

ASEA Journal, 1958, n.º 1-2, pág. 13-15.

C. D. U. 621.335

Étude comparée de l'entretien et de la réparation periodique des locomotives électriques — *M. K. J. Cook*

Bulletin du Congrés des Chemins de Fee, 5-958, vol. 35, n.º 5, pág. 673-686.

C. D. U. 621.375.4

La estabilizacion de c.c. de Transmissores de capas — *L. B. Johnson e P. Vermes.*

Boletin de aplicaciones electrónicas, 1957-1958, vol. 17, n. 4, pág. 154 a 182.

C. D. U. 621.397.335 : 621.316.727

Perfeccionamentos en los receptores de Televesion (continuação) — *Vários.*

Boletin de aplicaciones electrónicas, 1957-1958, vol. 17, n.º 4, pág. 133 a 154.

C. D. U. 621.56/.58 : 620.197.5

A protecção catódica na técnica do frio — *L. Piatti e H. Bourquin.*

Sulzer — Revista Técnica, 1957, n.º 4, pág. 31-37.

C. D. U. 621.791.753 : 658.564

Automatic welding-some considerations on its use — *J. C. Fitch.*

The Metropolitan—Vickers Gazette, 9-958, vol. 29, n.º 471, pág. 265 a 274.

C. D. U. 621.794

Possibilités du nikelage chimique — *J. Fiedler e J Vanroyen.*

Revue du Nickel, 7-958, n.º 3, pág. 53 a 63.

C. D. U. 621.765 : 546.74

Application au nickel et à ses alliages de la technique métallographique par polissage local el répliques — *P. A. Jacquet.*

Revue du Nickel, 3-959, n.º 1, pág. 1 a 10.

C. D. U. 621.825.7

Limited end float couplings: principales and applications — *J. Titterington.*

The Metropolitan—Vickers Gazette, 9-958, vol. 29, n.º 471, pág. 274-278.

C. D. U. 621.86/.87 : 621.313.333.2—592

Moteurs stop pour petits engins de levage et instalations de manutention — *J. Sidler.*

Revue Brown Boveri, 1958, vol. 45, n.º 4, pág. 159-162.

C. D. U. 621.891 : 621.24

Contribution à l'étude du phénomène d'érosion par frottement dans le domaine des turbines hidrauliques — *Th. Bovet.*

Bulletin Technique de la Suisse Romand, 1-2-958, n.º 3, pág. 37-49.

C. D. U. 622.676

Combined rock and service mine hoist with three-phase induction motor for automatic hoisting — *Mark, A.*

ASEA Journal 31 (1958): 1-2, pp. 5-12.

C. D. U. 624.63/.67

Problémes relatifs au vieillissement des ponts et viaducs — *G. Cividalli.*

Bulletin du Congrés des Chemins de Fer, 5-958, vol. 35, n.º 5, pág. 687-832.

C. D. U. 625.143

Rails de très grande longueur — *M. F. Jackson.*

Bulletin du Congrés des Chemins de Fer, 5-958, vol. 35, pág. 631-648.

Sociedade Metropolitana e Colonial de Construções, L.da

SOMEC

R. Andrade Corvo, 29, 1.º — Lisboa Telefone 59169/70

Sondagens
Fundações
Betão armado
Trabalhos marítimos
Túneis

no Continente e Ultramar

CIMENTO TEJO

FÁBRICA EM ALHANDRA

Fábrica com quatro linhas de fabrico

sendo uma delas das mais modernas da Europa

Para obras hidráulicas e de responsabilidade preferir o

CIMENTO TEJO

Companhia «Cimento Tejo»

Rua da Vitória, 88-2.º — Telef. 28953 — LISBOA

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 2 0464 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

EMPRESA ELECTRO CERÂMICA — S. A. R. L.

Candal — Gaia

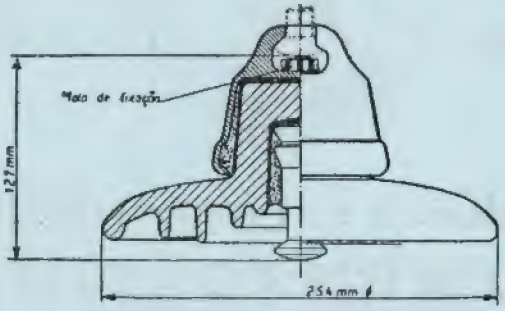
ISOLADORES DE CADEIA

Para suspensão

Tipo ACS 25

Este isolador é igual ao tipo I. B. S. 99 da firma inglesa Taylor Tunnicliff & Co., Ltd., por acordo com a qual o fabricamos

Peso aproximado:
4,5 kg cada elemento



Materiais

Porcelana vidrada em castanho.
Campânulas de ferro fundido maleável, galvanizadas por imersão a quente.
Hastes de aço macio galvanizadas por imersão a quente.
Molas de fixação de bronze fosforoso.

Sede — Largo Barão de Quintela, 3 — LISBOA

Ceresite
Uma só vez
com . . .

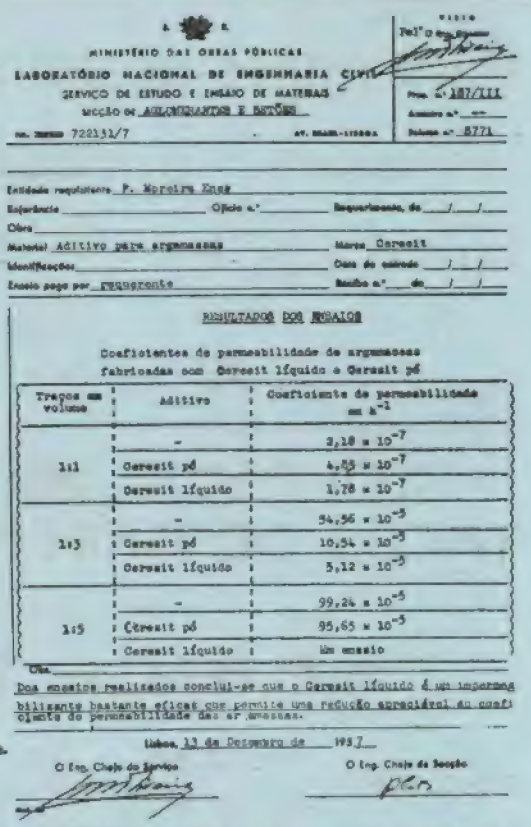
Um produto alemão de W. B. W.

Há mais de 50 anos **CERESIT** tem criado tradições em todo o mundo.

Custo do **CERESIT** por m² de reboco com 1 cm:

CERESIT líquido 150 gr . . . 2$20
CERESIT pó 80 gr . . . 1$80

Porto: F. MOREIRA ENES — R. Passos Manuel, 40



MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL
SERVIÇO DE ESTUDO E ENSAIO DE MATERIAIS
SECÇÃO DE AGLOMERANTES E BETÕES

Proc. 187/III
Boletim nº 8771

Entidade requisitante F. Moreira Enes
Requerimento, de ___/___/___
Material Aditivo para argamassas — Marca Ceresit
Data da entrada ___/___/___
Ensaio pago por requerente — Recibo nº ___ de ___/___/___

RESULTADOS DOS ENSAIOS

Coeficientes de permeabilidade de argamassas fabricadas com Ceresit líquido e Ceresit pó

Traços em volume	Aditivo	Coeficiente de permeabilidade em h^{-1}
1:1	-	$2,18 \times 10^{-7}$
	Ceresit pó	$4,85 \times 10^{-7}$
	Ceresit líquido	$1,78 \times 10^{-7}$
1:3	-	$34,56 \times 10^{-5}$
	Ceresit pó	$10,54 \times 10^{-5}$
	Ceresit líquido	$5,12 \times 10^{-5}$
1:5	-	$99,24 \times 10^{-5}$
	Ceresit pó	$95,65 \times 10^{-5}$
	Ceresit líquido	Um ensaio

Obs.

Dos ensaios realizados conclui-se que o Ceresit líquido é um impermeabilizante bastante eficaz que permite uma redução apreciável no coeficiente de permeabilidade das argamassas.

Lisboa, 13 de Dezembro de 1957

O Eng. Chefe do Serviço — O Eng. Chefe da Secção

Lisboa: SERAFIM RAMOS, LDA. — Cais do Tojo, 71

SOCIEDADE INDUSTRIAL METALURGICA

Responsabilidade Limitada
(REGISTADO)

SERRALHARIAS,
CALDEIRARIA,
FERRARIA,
FUNDIÇÕES

ESCRITÓRIO
Rua de S. Tiago, 13
LISBOA
Telefone 26572

SONDAGENS
FUNDAÇÕES
CAPTAÇÕES DE ÁGUA
REBAIXAMENTOS
DE NÍVEIS AQUÍFEROS

RUA RODRIGO DA FONSECA, 62-4.º D. • LISBOA • TELEF. 53873

Para impermeabilizar terraços, paredes, fundações, etc.

EMPREZA DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS
IMPERMEABILISADOR
IMEPA
RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.º-LISBOA

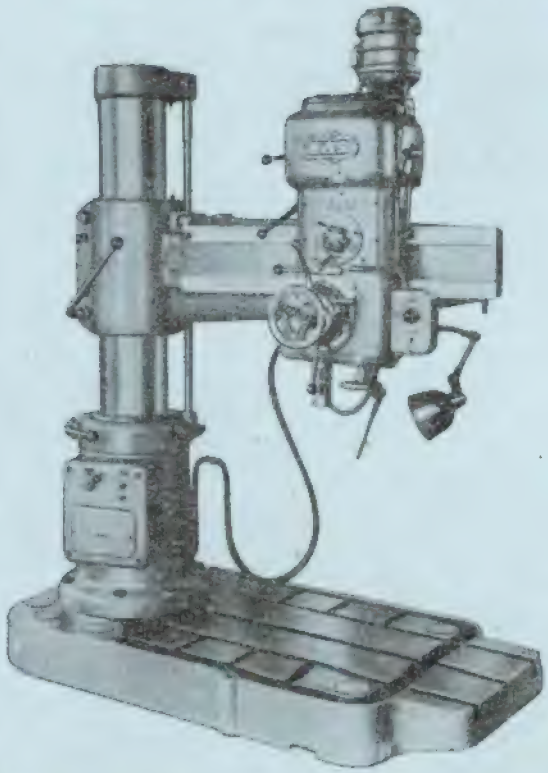
COLAGEM DE TACOS DE MADEIRA

FABRICA EM SACAVÉM

TELEF. 73 01 56 (4 linhas)

TELEG. EPALDA—LISBOA

MÁQUINAS FERRAMENTAS DE QUALIDADE

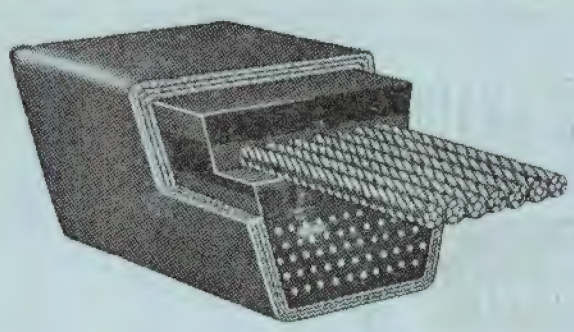


Tornos Paralelos
Limadores
Engenhos Radiais
Máquinas de Rectificar
Tornos Revólver
Frezas
Escateladores
Plainas
Mandriladoras

Entrega imediata

Máquinas de Precisão, L.DA
(Eng.º J. d'Arriaga de Tavares)

LISBOA: Rua da Boa Vista, 45-49—Tel. 66 60 86—66 60 87
PORTO: Rua de Santa Catarina, 653 a 663 — Tel. 2 87 20
LUANDA: Rua Direita de Luanda, 150 — Caixa Postal 304

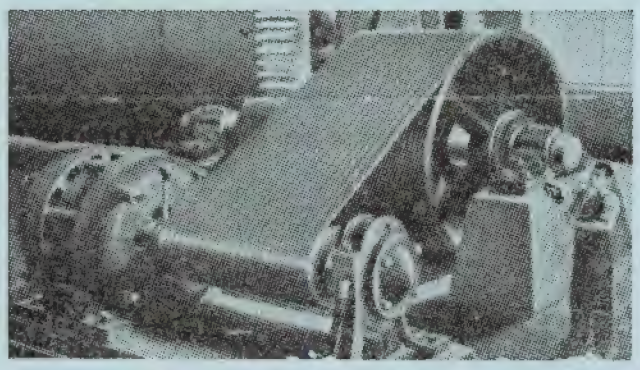


Quando tiver pequenas distâncias entre centros, grandes diferenças entre diâmetros, ou ambas as coisas, empregue correias **trapesoidais** sem-fim da

GOODYEAR

Para grandes potências use correias **trapesoidais** com cordas de aço.

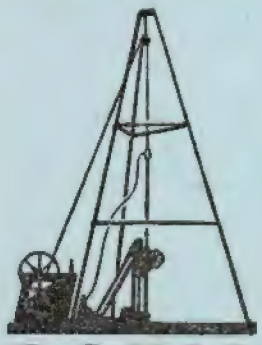
GOODYEAR



Distribuidores exclusivos:

CANELAS & FIGUEIREDO, LDA.
Rua dos Fanqueiros, 46 — LISBOA

SONDAGENS RÓDIO, L.DA
LISBOA
RUA S. MAMEDE AO CALDAS, 22, 3.º
Telefones: 2 8685 - 2 6865 ✦ Telegramas: SETANSOL



RÓDIO

SONDAGENS GEOLÓGICAS
ESTUDOS GEOTÉCNICOS
ESTACAS GUNITA
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS
CONGELAÇÃO DO TERRENO
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS
CONSOLIDAÇÃO DE FUNDAÇÕES
ABAIXAMENTO DO LENÇOL DE ÁGUA

—//—

Engenheiro Chefe: **Walter Weyermann**

ELECTRO-ARCO
LIMITADA

●

ELECTRODIOS
POSTOS E ACESSORIOS
PARA A SOLDADURA ELECTRICA

●

MATERIAL APROVADO PELO
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
VENDA NOVA —— AMADORA
LISBOA
RUA SILVA CARVALHO, 239 — TEL 683649
PORTO
RUA DO BOLHÃO, 216 — TEL 21277

A MAIOR FÁBRICA DE ESCAVADORAS DA EUROPA

RUSTON-BUCYRUS

Orgulha-se de apresentar o novo modelo de escavadora universal

30 RB

De comandos pneumáticos, Diesel ou Eléctrica

Capacidade básica 1 jarda cúbica (0,7646 m³)

Fàcilmente convertível em

SHOVEL
DRAGLINE
DRAGSHOVEL
GRABBING CRANE
LIFTING CRANE

Rendimento comparável ás usuais escavadoras de 1 ½ jardas cúbicas.

Ultimas aquisições

Companhia dos Diamantes de Angola — 4 unidades

Sociedade de Empreitadas Moniz da Maia & Vaz Guedes, Ltd.ª — 1 unidade

●

Representantes exclusivos para Portugal e Ultramar

MONTEIRO GOMES, LIMITADA

Rua Cascais, 47 (Alcântara)

LISBOA ◆ LUANDA ◆ LOURENÇO MARQUES

MABOR

TABELAS TÉCNICAS

PARA

ENGENHARIA CIVIL

por

Nuno Abrantes e A. Celestino da Costa

Sob a direcção do Prof. Vicente Ferreira

Pelos Eng.os Fernando Abecasis e Sidónio Brazão Farinha

PEDIDOS À "TÉCNICA"

Preço: 120$00

Assinantes: 10 % de desconto

OFICINAS E LABORATÓRIOS

DO

INSTITUTO SUPERIOR TECNICO

As oficinas pedagógicas do Instituto Superior Técnico, de CARPINTARIA DE MOLDE, de INSTRUMENTOS DE PRECISÃO e de ELECTROTÉCNICA, fornecem todo o género de material escolar e de demonstração para o ensino técnico. Nos laboratórios de QUÍMICA ANALÍTICA, FÍSICA INDUSTRIAL E DE MINERALOGIA executam-se análises para o público

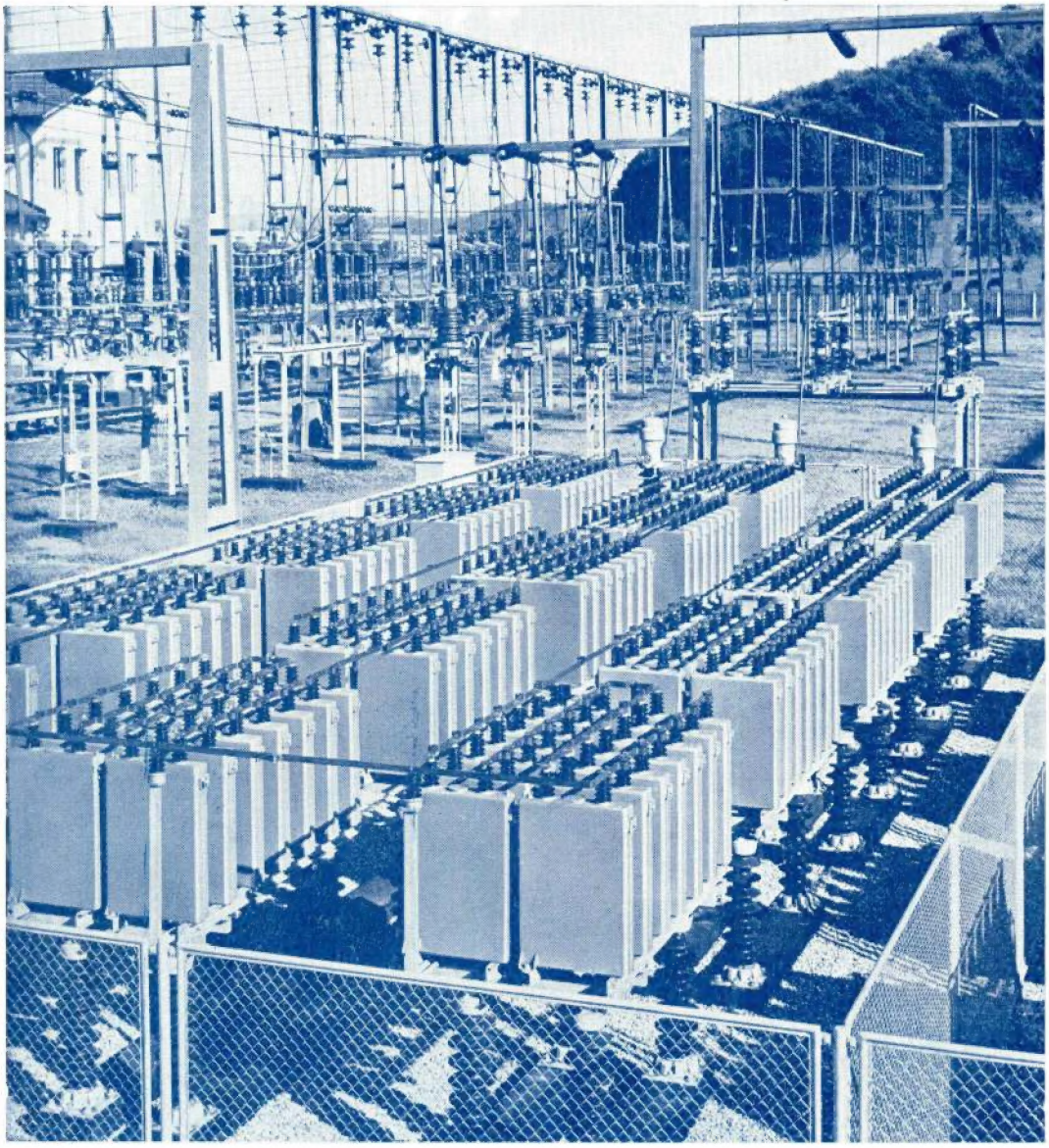
Para quaisquer informações, dirigir-se ao secretário da comissão executiva

Empresa de Sondagens e Fundações

TEIXEIRA DUARTE, L.DA

PR. DA FIGUEIRA, 18. 3.°
TELEF. 3 2774

LISBOA



CONDENSADORES ESTÁTICOS

de alta qualidade para compensar
o factor de potência, etc.

Condensadores cheios a «NEPOLINE» dieléctrico inalterável que lhe dá longa vida e grande segurança no serviço. Ausência de perigo de incêndio e explosão. **MICAFIL** — a casa que possue instalações de fabricação e ensaio mais modernas e longa experiência no domínio dos isolantes e condensadores.

Fornece em Portugal os condensadores **MICAFIL** a

Sociedade de Electricidade

BROWN BOVERI, LDA.

Rua de Sá da Bandeira, 481-2.º — PORTO — Telef. 2 3411